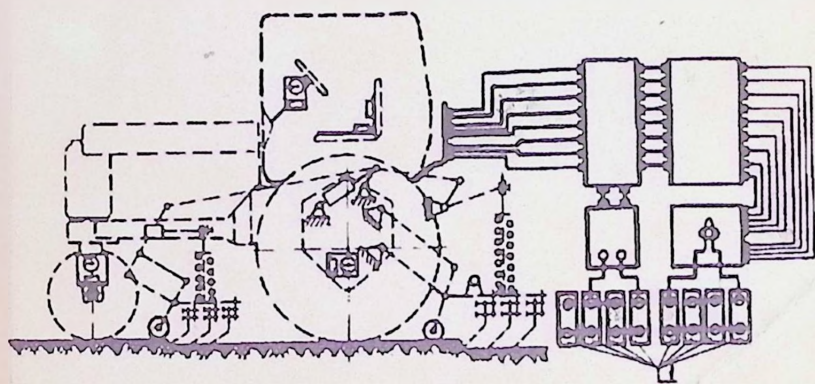


Т.С. ХУДОЙБЕРДИЕВ,
А.И. КОРСУН, И.А. АШИРБЕКОВ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АГРОИНЖЕНЕРИИ



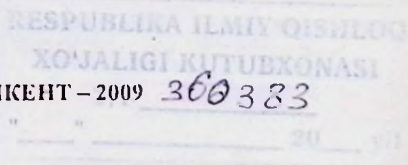
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

А.И. КОРСУН, Т.С. ХУДОЙБЕРДИЕВ, И.А. АШИРБЕКОВ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АГРОИНЖЕНЕРИИ

*Министерством Высшего и среднего специального образования
Республики Узбекистан рекомендовано в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений*

ТАШКЕНТ – 2009



А.И. Корсун, Т.С. Худойбердиев, И.А. Аширбеков «Научные исследования в агроинженерии» (учебное пособие). – Т.: Изд-во «Fan va texnologiya», 2009, 180 стр.

Рассматривает: основы научных исследований; методику опытов; планирование; подготовку и проведение опытов; преобразователи и датчики для измерения механических величин электрическими методами; анализ структурных составляющих машин и оценку их конструкторского совершенства; основы расчета надежности машин; основные пути повышения надежности и ремонтпригодности машин; пример применения многофакторного эксперимента при исследовании конструктивных параметров рабочих органов чизельного плуга; требования к проектированию машинно-тракторных агрегатов; организацию научных исследований и оформление результатов научно-исследовательских работ; технико-экономическую оценку результатов научного исследования; основные направления научно-исследовательских работ в агроинженерии; методическое руководство по выполнению выпускной магистерской диссертации.

Учебное пособие предназначено для бакалавриата направления «Агроинженерия», изучающих дисциплину «Основы научных исследований», магистров специальностей в области механизация сельскохозяйственного производства, организации и технологии ремонта сельскохозяйственной техники.

Рецензенты:

Н.А. Куламетов – д.т.н., профессор, руководитель лаборатории механизации уборки остатков хлопка и гуза-пан УзМЭИ;
А.Х. Хамидов – профессор кафедры «Сельскохозяйственное машиностроение» ТашТТУ, заслуженный механизатор сельского хозяйства

ISBN 978-9943-10-194-4

© Изд-во «Fan va texnologiya», 2009.

Аграрная политика республики Узбекистан направлена на дальнейшее развитие сельскохозяйственного производства на основе развития фермерских хозяйств и использования отечественной и зарубежной техники. Техническая оснащенность сельскохозяйственного производства в целом и отдельных ее отраслей формируется на основе существующих комплексов машин и может прогнозироваться с учетом внедрения новых технических средств.

Технический прогресс во многом определяется целенаправленным совершенствованием системы машин. Несмотря на повышение мощности и скорости движения сельскохозяйственных агрегатов, их технический уровень недостаточен. Это объясняется тем, что современные тракторы и сельхозмашины являются сложными техническими системами, которые работают в условиях непрерывно изменяющихся внешних воздействий.

С повышением энергонасыщенности трактора интенсивность динамических процессов возрастает, а их влияние на эксплуатационные показатели усиливается. Однако существующие методы оптимизации параметров машинно-тракторных агрегатов (МТА) не учитывают в достаточной мере динамику процессов, протекающих в них.

Определение оптимальных значений параметров МТА, которые обеспечивали необходимое качество управления в соответствии с агротехническими, энергетическими, надежностными, прочностными, эргономическими и технико-экономическими требованиями возможно лишь на основе глубокого изучения динамических характеристик агрегатов и достоверной информации об условиях их работы.

В этой связи, одним из направлений национальной программы по подготовке кадров – «это на качественно новый уровень следует поднять научные исследования во всех областях народного хозяйства».

Современный инженер не может ни шагу ступить без использования результатов науки. Внедряются научная организация труда, новейшие диагностические процедуры, автоматизация и организация технологического процесса. Будущему инженеру в своей практической деятельности придется в той или иной форме проводить исследования и испытания, творчески использовать достижения науки. Поэтому при разработке стандартов подготовки бакалавров предусмотрена дисциплина «Основы научных исследований», а для магистров введена дисциплина «Научные исследования в агроинженерии».

Центральное место в методике, организации и проведении современных исследований занимают методы теории вероятностей, математической статистики и планирования эксперимента. Однако в области сельскохозяйственной техники, эти методы еще не находят достаточно широкого применения. Одной из основных причин является недостаточное количество литературы в данной области, несмотря на то, что существует много книг общего назначения и книг, связанных с другими областями.

Целью предлагаемого учебного пособия является попытка устранить в какой-то степени этот пробел. Кроме того, стратегия перестройки всей экономики нашей страны, наряду с другими факторами, в значительной мере основывается на глубоком понимании роли науки и освоении ее результатов. Не менее двух третей прироста производительности общественного труда можно получить за счет использования достижений науки и техники.

Особо выделяется роль вузовской науки и улучшение использования научного потенциала высшей школы. Умение на современном этапе проводить теоретические и экспериментальные научные исследования необходимо магистру и аспиранту.

Учитывая сказанное, авторы учебного пособия задались целью познакомить читателя: с основами научного исследования; основными методами и организацией научных исследований; направлениями научных исследований в области механизации сельскохозяйственного производства, а также в эксплуатации, восстановлении и ремонта сельскохозяйственной техники; методами статистической обработки экспериментальных данных; регрессионным и корреляционным анализом; планированием эксперимента.

Рассмотрение выше перечисленных вопросов выполнено на основе работ [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 24, 34, 40,] и на примерах собственных экспериментальных исследований [11, 19, 62, 73].

В первой главе пособия представлены основы научных исследований, в которой излагаются: понятие о науке и её характерные черты; роль науки в обществе и научно-технического прогресса; научные исследования и их классификация; структура научного исследования; постановка проблемы; изучение материалов; рабочая гипотеза; основные методы исследования; основные аспекты системного подхода в исследовании эффективности сложных систем; понятие о сложной системе; аспекты системного подхода.

Во второй главе – методика опытов. Даются общие понятия о методике исследования. Показываются основные измеряемые величины и характеристики измеряемой аппаратуры.

В третьей главе «Планирование, подготовка и проведение опытов». Описываются: какое количество опытов надо проводить при исследовании; подготовка к опытам; планирование многофакторных исследований; проведение опытов и их предварительная оценка; особенности осциллографической записи.

В четвертой главе «Преобразователи и датчики для измерения механических величин электрическими методами» представлены: датчики и их тарировка; измерительные устройства; тензометрические приборы; расположение измерительных приборов в тензометрической станции; тарировка приборов; подготовка усилителя к работе; краткая инструкция по эксплуатации портативного 14 канального осциллографа Н-700; работа на осциллографе; юстировка осциллографа Н=700; устранение неполадок юстировки.

В пятой главе «Анализ структурных составляющих машин и оценка их конструктивного совершенства. Основы расчета надежности машин».

Раскрываются: состав элементов машин, годность машин и их элементов; структурные составляющие годности машин и дается обоснование эффективности восстановления изношенных деталей машин; равнопрочность конструктивных элементов и стабильность регулировок машин; долговечность и ремонтпригодность машин; анализ годности конструктивных элементов и какое отличие ремонтпригодности конструктивных элементов от неремонтпригодных; изменение годности неконструктивных элементов машин и как происходит выравнивание интенсивности снижения годности ремонтпригодных конструктивных элементов корректировкой их остаточной пассивной годности; структура технического сервиса, фирменного ремонта, лизинга и маркетинг в агропромышленном комплексе; закономерности изнашивания элементов машин.

В этой же главе описываются: применения математических основ расчета надежности машин; случайная величина; единичные и комплексные показатели надежности; определение вероятностей сложных событий; распределение случайной величины; числовые характеристики случайной величины; теоретические законы распределения; дифференциальные и интегральные функции законов распределения; закон нормального распределения; закон распределения Вейбулла; критерии согласия опытных и теоретических распределений показателей надежности; планы наблюдений и виды информации; прогнозирование надежности машин; определение полного фактического ресурса детали; методика обработки информации показателей надежности.

В шестой главе «Основные пути повышения надежности и ремонтпригодности машин» рассматриваются: пути повышения надежности машин; обеспечение надежности при проектировании; технологические методы повышения надежности машин; эксплуатационные мероприятия по повышению надежности машин; повышение надежности при ремонте.

В седьмой главе «Пример применения многофакторного эксперимента при исследовании конструктивных параметров рабочих органов чизельного плуга» рассматриваются общие положения и исследования конструктивных параметров рабочих органов чизельного плуга методом активного планирования эксперимента.

Восьмая глава посвящена требованиям к проектированию машинно-тракторных агрегатов. В ней рассматриваются: функции нагружения; функции несущей способности конструкции агрегата; прочность и надежность конструкции агрегата, пути минимизации конструктивной массы агрегата; оптимизация конструктивно-силовой схемы машинно-тракторного агрегата; проектирование конструкции МТА с учетом требований надежности.

В девятой главе «Организация научных исследований и оформление результатов научно-исследовательской работы» представлены: гигиена труда и отдыха научных работников; рациональный режим труда; память и её совершенствование; рабочее помещение и рабочее место; о гигиене зрения; режим отдыха и питания; выбор темы для исследования; просмотр обзоров достижений науки и техники; приемы выбора темы для исследования;

оформление результатов научно-исследовательской работы; виды информации о результатах научного исследования; содержание реферата и отчета; некоторые вопросы внедрения результатов научно-исследовательской работы.

В десятой главе «Технико-экономическая оценка результатов научного исследования» показывается, как надо проводить экономическую оценку результатов научных исследований. Даются комплексная оценка сельскохозяйственной техники и уровня её использования, а также эффективности результатов исследования.

Одиннадцатая глава посвящается основным направлениям научно-исследовательских работ в агроинженерии.

В 12-й главе «Методическое руководство по выполнению выпускной магистерской диссертации» представлены структура магистерской диссертации, оформление и защита.

В конце учебного пособия приводится используемая литература и приложение в виде таблиц.

1. ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Понятие о науке и ее характерные черты

Однозначное определение науки дать невозможно. Так, например, Менделеев говорил, – «что наука начинается с измерения». Наука и техника в наши дни развиваются такими стремительными темпами, что вчерашняя фантастика сегодня становится реальностью.

Невозможно себе представить современное промышленное и сельскохозяйственное (с.х.) производство, в которых бы не использовались результаты, достигнутые в самых разнообразных науках, воплощенные в новых машинах и механизмах, новейшей технологии, автоматизации производственных процессов, научных методов управления.

Радиоприемник, телевизор, холодильник, десятки других изделий бытовой техники, не говоря уже об автомобилях и самолетах, – все это основано на научно-технических достижениях, без которых невозможен повседневный быт человека.

Наука – сложное общественное социальное явление, особая сфера приложения целенаправленной человеческой деятельности, основной задачей которой является получение, освоение новых знаний и создание новых методов и средств для решения этой задачи.

Таким образом, кратко можно дать определение, что наука это система знаний. Притом целостная социальная система, объединяющая в себе постоянно развивающуюся систему научных знаний об объективных законах природы, общества и человеческого сознания, научную деятельность людей, направленную на создание и развитие этой системы, и учреждения, обеспечивающие научную деятельность.

Системную характеристику науки можно видеть на рис. 1.1.

Характерными чертами современной науки являются:

- превращение науки в непосредственную производительную силу;
- масштабность и массовость науки;
- резкое ускорение темпов научно-технического прогресса;
- тесное взаимодействие смежных, но и весьма далеких друг от друга наук, математические методы внедряются в самые разные, не только точные, но и гуманитарные науки;
- системный подход к изучению объектов исследования.



Рис. 1.1. Системная характеристика науки

1.2. Роль науки в обществе и научно-техническом прогрессе

В высших учебных заведениях наука с одной стороны повышает научную активность преподавательского состава, их научную отдачу, которая вносит весомый вклад в развитие общей системы научных знаний; с другой стороны, студенты, участвующие в кафедральных исследованиях, приобретают навыки исследовательской работы и, естественно, повышают уровень профессиональной подготовки.

Одно из важнейших условий развития личности – преобразование технической основы его трудовой деятельности, максимальное насыщение его творческим началом, так как только при этом труд превращается в жизненную необходимость.

Именно поэтому правительство республики Узбекистан взяло курс на ускорение научно-технического прогресса в качестве первой из узловых проблем рыночной экономики. Однако оно невозможно в современных

условиях без самого активного воздействия науки на развитие народного хозяйства страны.

Следует подчеркнуть, что при развитии рыночной экономики, возникает необходимость научного планирования и управления производством и обществом в целом.

Сложность развития народного хозяйства при рыночной экономике требует анализа тенденций развития и сохранения необходимых пропорций отдельных отраслей. Поэтому постоянно возрастает роль и ответственность научно обоснованного анализа, синтеза, планирования и управления народным хозяйством страны.

Какова роль науки в развитии технического прогресса можно привести примеры из исторического развития тракторостроения.

История русского тракторостроения связана с именами двух выдающихся изобретателей Федора Абрамовича Блинова и Якова Васильевича Мамнина (середина 18-го столетия).

Будучи машинистом парохода, а затем, занимаясь ремонтом сельскохозяйственных машин, Ф.А.Блинов пришел к мысли создать самоход с паросиловой установкой для буксировки плуга и других машин-орудий. Убедившись в реальности своих замыслов, Блинов приступил к созданию гусеничного трактора (рис. 1.1.), оборудованного паросиловой установкой. В передней части трактора находились будка (кабина) и баки для воды и топлива.

Другой изобретатель Я.В.Мамнин изобрел колесный трактор (1.2.).

В последствии паросиловые двигатели были заменены дизельными двигателями внутреннего сгорания мощностью 25 л.с.

Сравнивая современные тракторы (рис. 1.3.), можно видеть какое отличие они имеют. Все это произошло благодаря развитию науки и научно-технического прогресса.

То же самое можно отметить и в автомобилестроении, самолетостроении, а также в других областях народного хозяйства.

Предела совершенствования технологии и технических средств нет. Народное хозяйство постоянно требует совершенствования и создания таких средств с высокими технико-экономическими показателями.

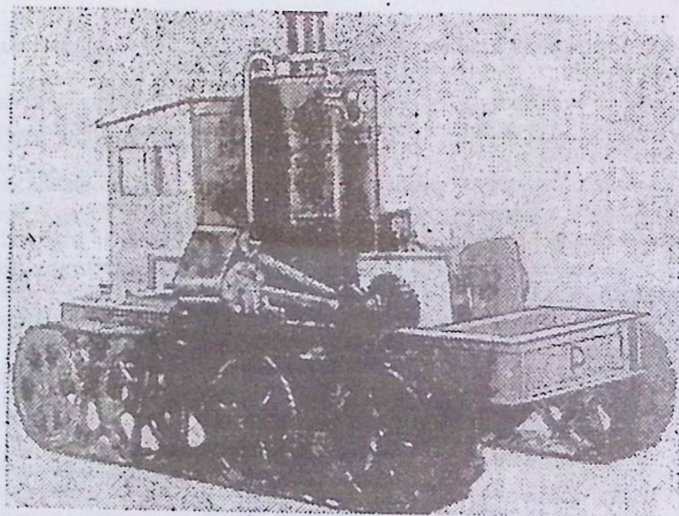


Рис. 1.1. Гусеничный трактор конструкции Ф.А.Блинова
(фотография с модели)

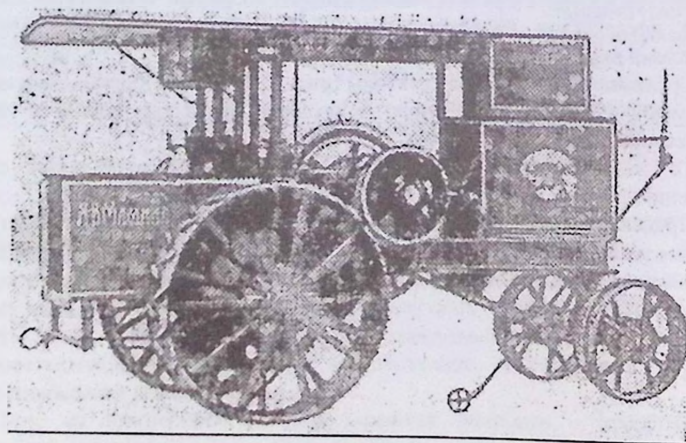


Рис. 1.2. «Русский трактор» конструкции Я.В.Мамнина



Колесный трактор ТТ3-80.10



Гусеничный трактор Т-4А

Рис. 1.3. Современные тракторы

1.3. Научные исследования и их классификация

Научное исследование включает в себя три основных компонента: научный труд, предмет научного труда и средства научного труда.

Научный труд опирается на совокупность конкретных методов познания необходимых для достижения новых или уточненных знаний об объекте исследования.

Предмет научного труда – это, прежде всего, тот объект исследования, на познание которого направлена деятельность исследователя. Объектом

исследования может быть любой предмет или явление. Например, трактор, его агрегаты, узлы, детали и др.

Явление: – бокового увода эластичного колеса; процесс сгорания рабочей смеси в цилиндре двигателя и т.д. Связь между явлениями. Например, связь между воздействиями неровностей на ходовую часть трактора и возникающими колебаниями на сиденье водителя, а также другими эксплуатационными показателями.

Свойство: – маневренность трактора (агрегата), его динамика; безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость и т.д.

В предмет исследования, помимо объекта, входят также предшествующие знания об объекте.

Научные исследования в зависимости от назначения, степени связи с природой и производством, глубины и характера научной работы подразделяются на фундаментальные, прикладные и разработки.

Фундаментальные исследования – получение принципиально новых знаний и дальнейшее развитие системы уже накопленных знаний. [19, 33]. Цель фундаментальных исследований – открытие новых законов природы, вскрытие связей между явлениями и создание новых теорий. Фундаментальные исследования связаны со значительным риском и неопределенностью с точки зрения получения конкретных положительных результатов, вероятность которых не превышает 10%. Несмотря на это, именно фундаментальные исследования составляют основу развития, как самой науки, так и общественного производства.

Прикладные исследования – создание новых либо совершенствование существующих средств производства, предметов потребления, и т.п. Создание новых машин и совершенствование существующих производится на основе научных знаний, добытых в фундаментальных исследованиях. Практическая (ориентация) направленность и отчетливое целевое назначение прикладных исследований делает вероятность получения, ожидаемых от них результатов, весьма значительной, не менее 80-90%.

Разработки направлены на использование результатов прикладных исследований для создания и отработки опытных моделей техники, технологий производства, а также усовершенствование существующей техники.

Рассмотренная классификация условна и границы между тремя формами научной деятельности подвижны. Их объединяет принадлежность к области науки.

Между фундаментальными исследованиями и промышленным производством лежит область взаимосвязанных стадий: прикладные исследования – разработка – проект – освоение. Проектирование и освоение принадлежит одновременно и к области науки и к области техники. Эта научная работа, которая направлена на получение новых, оригинальных решений в области техники, технологии или организации производства.

1.4. Структура научного исследования

Научное исследование – это изучение закономерностей развития явлений объективного мира и их объяснение.

Понятие научного исследования не следует путать с понятием испытания. Под испытанием понимают проверку каких-либо установленных заранее свойств или качеств объекта согласно ГОСТ или ТУ (технических условий).

Например, при выпуске тракторного двигателя проверяют, развивает ли он гарантированную мощность, каков при этом расход топлива и т.п. Но если ставится задача, каким образом, наиболее целесообразно повысить мощность этого двигателя и каковы при этом будут последствия при эксплуатации двигателя с повышенной мощностью, – это уже предмет исследований.

Исследование может быть теоретическим или экспериментальным.

Научное исследование, осуществляемое в области прикладных наук, в частности, техники, проходит ряд этапов, которые и составляют структуру научного исследования (рис. 1.4.).

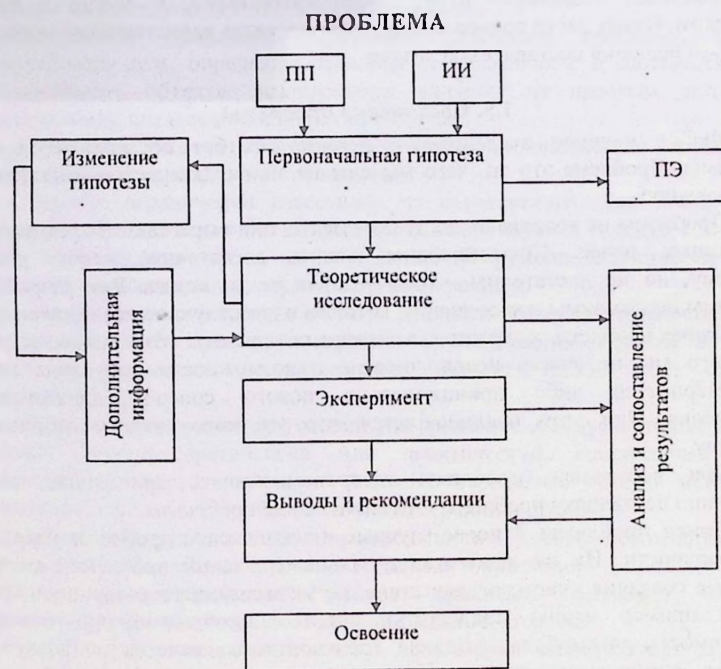


Рис. 1.4. Структура научного исследования

Научная абстракция – общий метод теоретического исследования. В приложении к технике теоретическое исследование заключается в анализе и синтезе закономерностей и открытии новых закономерностей при помощи

математического аппарата. Используя известные математические выражения законов природы, устанавливают и объясняют новые объективные закономерности путем логического развития, принятия новых предпосылок и допущений.

Теоретическое исследование обладает свойствами всеобщности.

Оно не требует больших затрат труда и средств. При достаточной надежности исследования его результаты действительны в течение длительного времени.

Правильность теоретического исследования и его надежность зависят от правильности предпосылок, допущений и логического развития.

Изучаемые явления настолько многообразны и сложны, что часто трудно и невозможно получить точное теоретическое решение, поэтому результаты расчетов становятся ненадежными.

Теория должна соответствовать практике, иначе принятые исследователем положения будут продолжительными, а иногда и просто вымыслом. Очень часто только эксперимент является единственным надежным способом решения поставленной задачи.

1.5. Постановка проблемы

Любое научное исследование невозможно без постановки научной проблемы. Проблема это то, чего мы еще не знаем. Эта задача, подлежащая исследованию.

Проблемы не возникают на пустом месте, они вырастают из результатов, полученных ранее. Существующие знания достаточны, чтобы решить проблему, но не достаточны, чтобы решить ее до конца. Для разрешения проблемы необходимы новые знания, которые и дает научное исследование.

Любая проблема содержит два связанных элемента: объективное знание о том, чего мы не знаем; предположение о возможности получения новых закономерностей либо принципиально нового способа практического применения. При этом предполагается, что это новое знание необходимо обществу.

При постановке проблемы следует различать три этапа: поиск, собственно постановку проблемы и развертывание проблемы.

Поиск проблемы. Многие научные и технические проблемы находятся на поверхности. Их не надо искать. Например, такой проблемой является проблема создания «чистого» двигателя, не загрязняющего воздушную среду. Другой пример можно привести в связи с необходимостью повысить проходимость автомобиля, создания транспортного средства на воздушной подушке. Эти примеры являются крупными научно-техническими проблемами. И они в своем составе имеют множество более мелких проблем, которые, в свою очередь, могут стать темой научного исследования.

Очень часто проблема возникает от «обратного», когда в процессе практической деятельности получаются результаты обратные, противоположные или резко отличающиеся от тех, какие были заложены при создании машины. Возникла проблема надежности машины в технике. Отказы,

неполадки, возникающие при работе правильно рассчитанных и сконструированных машин, привели ученых к необходимости изучать законы работы не только «идеальных» механизмов, но и таких, техническое состояние которых отличается от нормального. Эта необходимость и вылилась в постановку проблемы надежности в технике.

Важно при поиске и отборе проблем для их решения учитывать следующее:

- возможно ли дальнейшее развитие техники в намеченном направлении без разрешения данной проблемы?

- могут ли знания, новые закономерности, новые способы и средства, которые предполагается получить в результате исследований по данной проблеме, обладать большой практической ценностью в сравнении с теми, которые уже имеются в науке или технике?

Трудный процесс обнаружения неизвестного в ходе научного познания и практической деятельности человека – объективная основа поиска и постановки новых научных и технических проблем.

Постановка проблемы. Правильно поставить проблему, четко сформулировать цель, определить границы исследования и в соответствии с этим установить объекты исследования, является не простым делом и индивидуальным для каждого конкретного случая.

Можно отметить четыре основных «правила» постановки проблемы, которые обладают определенной общностью:

- строгое ограничение известного от неизвестного. Для постановки проблемы, необходимо знать новейшие достижения науки и техники в данной области, чтобы не ошибиться в оценке новизны обнаруженного противоречия и не поставить проблему, которая уже ранее была решена;

- следует четко ограничить область неизвестного реально возможными пределами, выделить предмет конкретного исследования, так как область неизвестного бесконечна и невозможно охватить одним или серией исследований;

- определение возможных условий для решения. Следует уточнить тип проблемы (научно-теоретический или практический, специальный или комплексный, универсальный или частный), определить общую методику исследования и задать масштабы точности измерений и оценок;

- наличие неопределенности или вероятности. Поэтому необходимо эту проблему решать более совершенными методами и приемами.

Развертывание проблемы. Решение проблемы совпадает с ее развертыванием, так как возникают дополнительные вопросы.

Решение дополнительных вопросов дает в руки исследователя данные, факты, необходимые для поиска ответа на центральный вопрос проблемы.

Дополнительные вопросы можно отождествить с понятием изучения объекта исследования в новой связи, с новыми объектами, или приравнять к рассмотрению старого, изученного отношения объекта в новых условиях.

Центральный вопрос научной проблемы это своеобразный узел, к которому привязаны различные аспекты проблемы. Они могут в некоторых

случаях рассматриваться как огромные темы исследований, отдельные подпроблемы, а иногда и как самостоятельные проблемы.

Например, постановка и развертывание проблемы диагностирования тракторного агрегата. Эта проблема появилась постепенно из более крупной научно-технической проблемы эксплуатационной надежности трактора и сельскохозяйственных машин. Одним из аспектов этой фундаментальной проблемы была подпроблема технического обслуживания трактора (агрегата), в состав которой входил вопрос о контроле технического состояния трактора в целом и наиболее сложного его агрегата-двигателя. Возникла потребность быстрого, точного и, главное, не требующего разборки машины или ее частей определения технического состояния и объема необходимого восстановительного вмешательства (регулировки, замены деталей, очистки и т.п.).

Все это требовало высокой квалификации обслуживающего персонала.

В условиях быстрого роста тракторостроения и сельскохозяйственно-строения выяснение причин неисправности путем полной или частичной разборки узла или агрегата дорого, малопродуктивно, вызывало постоянную нехватку специалистов.

Разборка методов и средств безразборной диагностики по косвенным показателям (симптомам) породила множество вопросов, так как обнаружилось наше незнание, как этих симптомов, так и характерных особенностей работы двигателя и его узлов при ухудшенном техническом состоянии. Возник ряд аспектов проблемы диагностирования не только технического, но и организационного, экономического характера, например: двигатель как канал связи при виброакустических методах диагностирования, минимизация операций и приборного оснащения диагностирования, место диагностики в техническом обслуживании трактора и его двигателя и др.

На приведенном примере видно, как одна проблема перерастает в другую и как эти проблемы «обрастают» новыми вопросами, как множатся аспекты основной проблемы, в чем и заключается ее развертывание.

1.6. Изучение материалов

Проведение любого научного исследования начинается с изучения и анализа опыта предшественников и материалов исследований в смежных областях наук.

В изучении материалов можно выделить два этапа.

Первый этап – поиск источника информации. Изучение надо начинать с монографий, посвященных тому направлению, в котором предполагается проводить исследования. При изучении монографий вы знакомитесь с современной точкой зрения на исследуемую проблему, подходам к ней и методикой исследований, а также происходит знакомство с основной литературой, так как монографии имеют достаточно полный библиографический указатель.

В дальнейшем последовательность подбора литературных источников должна быть примерно следующей:

- ознакомление с литературой, указанной в библиографии, а именно книги, брошюры, статьи в журналах, диссертации и пр.;
- просмотр реферативных журналов по соответствующему разделу науки и техники и информационных изданий (экспресс-информация, сборники НИИ информации тракторной и сельскохозяйственной промышленности, автомобильной и других отраслей техники);
- изучение журналов «Тракторы и сельхозмашины», «Техника в сельском хозяйстве», «Механизация хлопководства» и др.;
- изучение трудов институтов, тезисов докладов конференций, авторефератов диссертаций.

Вся найденная информация должна быть занесена на карточки и скомпонована в картотеку.

Второй этап – ознакомление с источниками информации.

Этап изучения информации состоит из двух подэтапов: ознакомления и чтения.

В современных книгах аннотация обязательна, в которой излагается основное содержание книги. Поэтому это помогает читателю быстро ознакомиться с необходимой литературой.

Если в результате быстрого ознакомления с книгой или другими материалами окажется необходимым более детальное знакомство с ними, то и тогда не рекомендуется читать все подряд.

Следует читать текст так, чтобы мысль концентрировалась только на содержательной части текста и критически анализировала его по следующей схеме.

По такой же схеме следует конспектировать необходимый материал предшествующих исследований, который затем критически анализируется в таком плане:

- фиксируется достигнутый уровень знаний в исследуемом направлении;
- выясняются оригинальные идеи, интересные методы этой области;
- выясняются недостатки предыдущих исследований;
- намечаются возможные пути дальнейших исследований.

Критический анализ выполненных исследований должен быть обоснованным и доказательным, особенно по замеченным недостаткам. Критика должна быть объективной. Нельзя считать, что все сделанное ранее, – плохо; с другой стороны нельзя безоговорочно принимать все, предложенное авторитетным предшественником.

В тех случаях, когда мнения и выводы авторов изученной литературы по оценке важности, весомости отдельных фактов расходятся, рекомендуется прибегать к математическому анализу степени согласованности этих мнений методом ранговой корреляции.

Следующий этап научного исследования после изучения и анализа литературных и других источников – разработка рабочей гипотезы.

XOYALIGI KUTUBXONASI
№ 360383

1.7. Рабочая гипотеза

Для составления рабочей гипотезы следует тщательно изучить литературные данные, все доступные отчеты о проведенных ранее аналогичных исследованиях и соответствующей цели опыт передовых механизаторов.

Все эти материалы необходимо критически проанализировать, чтобы выяснить, что уже достигнуто и разработано, какие оригинальные и творческие замыслы развивались для решения задачи, какие есть неясности, противоречия и недоработки, какие намечаются пути к открытию нового и развитию, улучшению старого.

Тщательно изучив все материалы, относящиеся к цели и предмету исследования, разрабатывают его рабочую гипотезу.

Рабочая гипотеза – научное предположение о развитии явлений и их объяснение; это предположение не доказано, но в той или иной степени вероятно.

В принятой рабочей гипотезе необходимо выделить из всех уже известных наиболее важные и решающие причинные связи и взаимодействия, вероятное направление и ход развития. При всем этом рабочая гипотеза должна быть логически проста и во всех своих деталях проверяема экспериментально. Изложена она должна быть кратко и ясно. Особое внимание следует обратить на точность понятий и терминов.

В технических исследованиях такое изложение дополняют графическим изображением предполагаемых функциональных связей. В некоторых случаях, а именно там, где главные факторы и связи основного направления и хода развития явления не вызывают сомнений, развитие явления полезно представить в виде математических моделей, в которых кривые развития явления заменены системой взаимосвязанных математических формул.

Рабочая гипотеза дает полное или почти полное вероятное объяснение всего процесса развития исследуемого явления; это максимум того, что может дать рабочая гипотеза. Но этот максимум можно получить лишь в процессе теоретического или экспериментального обоснования выдвинутой гипотезы, т.е. в процессе научного исследования.

Обоснованная, подтвержденная и развитая рабочая гипотеза перерастает в научную теорию.

Рассмотрим разработку гипотезы на конкретном примере из опыта работы [24].

Речь пойдет о гипотезе происхождения вредного явления – поперечных колебаний многозвенных тракторных прицепов.

Считалось, что влияние прицепов, это вынужденные колебания, причиной которых являются неровности дороги. Однако влияние прицепов возникало и при движении по ровной дороге. Таким образом, гипотеза вынужденных колебаний противоречила тому факту, что влияние происходило на совершенно ровных покрытиях, и эта гипотеза не давала решения для того, чтобы избавиться от влияния. Поэтому были продолжены теоретические исследования, натурные эксперименты, которые позволили установить

чрезвычайно важное для всей проблемы значение величины боковой эластичности прицепа.

Проиллюстрируем разработку гипотезы из опыта наших исследований колебаний тракторных агрегатов [19].

Есть предположение о том, что с увеличением скорости движения колебания объектов агрегата возрастают. Однако экспериментальные исследования показали, что это увеличение происходит до определенной скорости и зависит от динамических параметров объектов агрегата: массы, момента инерции, коэффициента демпфирования, жесткости.

Таким образом, наблюдаемые факты опровергли старую рабочую гипотезу и позволили выдвинуть новую, которая потом и была подтверждена многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Четко и достаточно полно разработанная гипотеза существенно облегчает дальнейшую работу, так как позволяет заложить в методики теоретических и экспериментальных исследований вполне конкретные параметры, характеризующие изучаемое явление или объект, подлежащие измерению.

1.8. Основные методы исследования

Каждая наука пользуется целым комплексом присущих ей конкретных или специальных методов исследования, которые обладают различной степенью универсальности. Некоторые, обладая всеобщностью, могут применяться в различных науках, например математические методы, другие – только в пределах данной науки, например тензометрический метод в технических науках. Конкретные научные методы на познание сущности конкретного объекта с целью определения тех его свойств и особенностей, которые необходимы для решения определенной практической или научной проблемы.

Рассмотрим основные методы, применяемые при научном исследовании в технических науках.

Анализ – это метод научного познания, который заключается в том, что объект исследования мысленно расчленяется на составные части или выделяются присущие ему признаки и свойства для изучения их в отдельности. Анализ позволяет проникнуть в сущность отдельных элементов объекта, выявить в них главное, существенное и найти связи взаимодействия между ними. Например, исследуя надежность машины, расчленяют это свойство на три более простые: безотказность, долговечность и ремонтпригодность, затем изучают каждое из них в отдельности.

Синтез – метод научного исследования объекта или группы объектов как единого целого во взаимосвязи всех его составных частей или присущих ему признаков. Метод синтеза характерен для исследования сложных систем после анализа всех его составных частей. Анализ и синтез взаимосвязаны и дополняют друг друга.

Индуктивный метод исследования заключается в том, что от наблюдения частных, единичных случаев приходят к общим выводам, от отдельных фактов – к обобщению. Индуктивный метод самый

распространенный в естественных и прикладных науках, и суть его состоит в переносе свойств и причинных связей с известных фактов и объектов на неизвестные, еще неисследованные. Например, многочисленные наблюдения и опыты показали, что железо, медь, олово расширяются при нагреве; отсюда делается общий вывод, что все металлы при нагревании расширяются.

Дедуктивный метод. В противоположность индуктивному основан на выводе частных положений из общих оснований: из общих правил, законов, суждений. Наиболее широко дедуктивный метод используется в точных науках, например, в математике, теоретической механике, в которых частные зависимости выводятся из общих законов или аксиом. «Индукция и дедукция связаны между собою столь же необходимым образом, как синтез и анализ».

Абстрагирование. Метод абстракции применяется в научном исследовании при необходимости отвлечения от частных, иногда несущественных сторон рассматриваемого явления для того, чтобы сосредоточить внимание на общих, существенных его сторонах, свойствах.

Рассмотрение действующих сил и моментов на машинно-тракторный агрегат (МТА) – при его движении к центру масс (центр тяжести), пример типичной абстракции, так как при этом отвлекаются от размеров МТА, его формы, материала, из которого он изготовлен. Научная абстракция помогает вскрыть определенную систему и закономерную связь в кажущемся хаотическом нагромождении явлений. Наиболее высокий уровень абстрагирования характерен для математики, которая в силу этого обладает и наибольшей всеобщностью.

Формализация. Метод научного исследования заключается в том, что исследуемое явление, объект (его свойства, признаки), процесс выражаются в математических терминах и формулах с применением специальной символики, с которыми затем выполняют действия по определенным правилам. Формализация является сущностью математического абстрагирования. Она позволяет использовать математический аппарат в отдаленных от математики науках, например: в медицине, языкознании, биологии и др. В прикладных технических науках формализация и математические методы широко используются при теоретическом исследовании.

Математика позволяет проводить расчеты, она дает возможность конкретно формулировать исследуемые задачи, точно и четко определять условия их решения. Математика дисциплинирует мышление исследователя, придает логическую полноту его суждениям. Процесс проникновения математики и ее методов в другие науки ускорился в связи с распространением вычислительной техники и созданием на ее основе различных электронно-кибернетических устройств. Созданы логические диагностические машины для определения неисправностей тракторов и автомобилей, а это стало возможным только после формализации процедур технической диагностики.

Широко проникла в современную науку математическая статистика; без использования ее методов не обходится в настоящее время проведение каких бы то ни было наблюдений или экспериментов. Умение статистически мыслить

необходимо сейчас не только исследователю, но и рядовому инженеру на любом участке работы в автотранспортном или ремонтном предприятии.

Аналогия или подобие. Это сходство по какому-то признаку в целом различных объектов. Метод аналогий заключается в том, что из сходства некоторых признаков или свойств изучаемых объектов делается вывод о сходстве и других признаков или свойств, до того не изученных. Простейший пример аналогии в технике – сходство колебательных процессов в электрическом контуре, состоящем из индуктивной катушки, конденсатора, резистора, и в механической системе, состоящей из массы, пружины и демпфера. Метод аналогий используют в процессе моделирования.

Моделирование – это процесс научного исследования некоторых свойств и признаков объекта не непосредственно на нем самом, а на других, более доступных изучению объектах (моделях), -подобных, аналогичных данному.

Эксперимент. Экспериментальное исследование заключается не только в пассивном наблюдении изучаемого явления, но и в активном вмешательстве в его протекание с тем, чтобы выделить отдельные его стороны и связи, искусственно их воспроизводить в условиях, которые можно менять по желанию исследователя.

Эксперимент важен не только тем, что он помогает раскрывать все новые и новые закономерности в реальной действительности, но и тем, что только эксперимент позволяет подтвердить правильность теоретических положений, разработанных исследователем.

В прикладных технических науках исследование протекает комплексно, включает в себя и экспериментальную и теоретическую часть.

В каждом исследовании должна быть теоретическая часть, в которой исследователь имеет дело не с материальными объектами, а с их абстракциями, с их математическими моделями. Следует помнить, что без математического аппарата, без математизации исследовательской работы не будет.

Перечисленные выше методы научного исследования никогда не используются в отдельности, а почти всегда в комплексе. Методы индукции и дедукции, анализа и синтеза, методы абстракции и аналогии, моделирования и формализации связаны между собой, дополняют друг друга в конкретных исследованиях. В то же время они являются принадлежностью не одного лишь теоретического исследования.

1.9. Основные аспекты системного подхода в исследовании эффективности сложных систем

1.9.1. Понятие о сложной системе

Как отмечалось выше, одной из характерных особенностей современной науки является системный подход к изучению объектов исследования.

Сложной системой называется такая, которая обладает одним из ниже перечисленных признаков: система допускает разбиение на подсистемы, изучение каждой из которых с учетом влияния других подсистем в рамках

поставленной задачи имеет содержательный характер: система функционирует в условиях существенной неопределенности, и воздействия среды на нее обуславливают случайный характер изменения ее параметров и структуры; система осуществляет целенаправленный выбор своего поведения. Дополнительными особенностями, характеризующими большую систему являются: большие размеры системы (большое число элементов, большая размерность соотношений, описывающих систему, большое число ее состояний и т.д.); сложная иерархическая структура системы, в которой сочетаются принципы централизованного и децентрализованного управления; циркуляция в системе больших информационных, энергетических и вещественных потоков, интенсивный обмен этими потоками с внешней средой; возрастание неопределенности в описании системы и, особенно ее взаимодействия со средой, в частности, введение в рассмотрение конфликтных ситуаций; многоцелевой аспект функционирования системы.

Таким образом, под системой понимается полная совокупность, состоящая из всех объектов, свойств и отношений, необходимых для достижения данной цели. Особое место при определении понятия сложной системы занимает анализ систем.

Сельскохозяйственное производство является сложной системой, и оно зависит от: почвенно-климатических условий; ирригации и механизации земель; комплексной механизации; научно-технического прогресса и его направления; химизации и повышения культуры земледелия; специализации и концентрации сельскохозяйственного производства; социально-экономических показателей, а также совершенствования управлением производством. Структурная схема сложной системы производства сельскохозяйственной продукции показана на рис. 1.5.

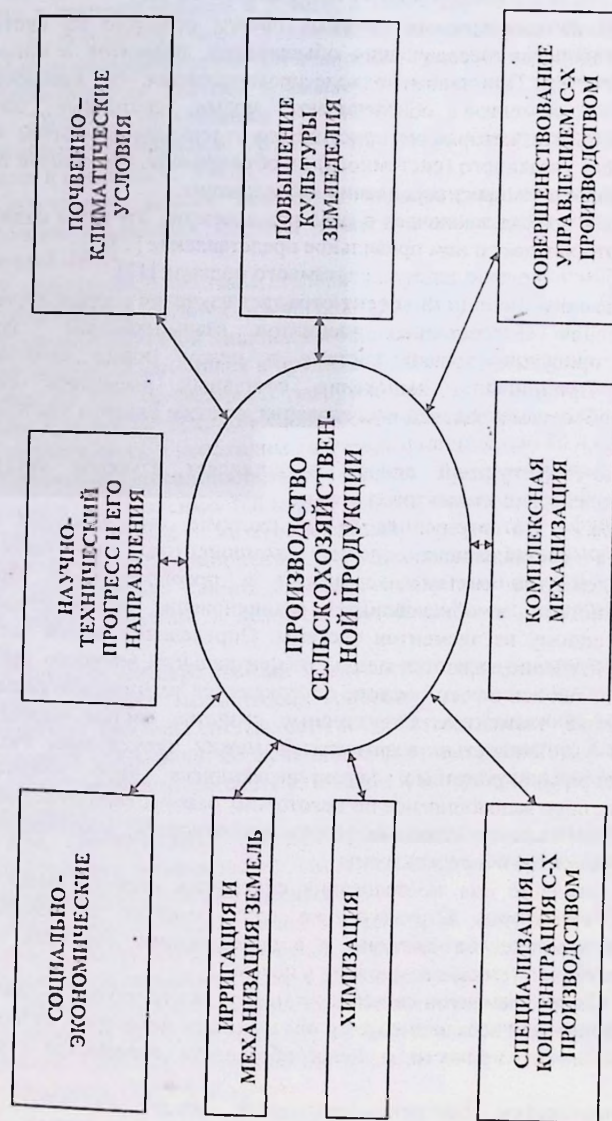


Рис. 1.5. Структурная схема сложной системы производства сельскохозяйственной продукции

1.9.2. Аспекты системного подхода

Исследование современных сложных систем основано на системном подходе – методологии исследования объединений элементов в природе и обществе как систем. При таком подходе предполагается, что взаимосвязь и взаимодействие элементов обеспечивают новые системные свойства исследуемого объекта, которые не присущи его отдельным элементам или их совокупности без увязанного (системного) их объединения. Системный подход является основой системных направлений исследования.

Системный подход включает в себе ряд аспектов, изучение единства и взаимосвязи которых дает о нем правильное представление [17].

Рассмотрим основные аспекты системного подхода [17].

Системно-компонентный аспект отражает изучение состава системы на основе выделения её составных элементов, взаимодействие которых обеспечивает присущие только системе в целом новые качественные особенности. Принципы выделения составных элементов системы определяются объектом и задачей исследования, а также охватом учитываемых аспектов.

Системно-структурный аспект представляет изучение внутренних связей и взаимодействия элементов системы.

Структура – это внутренняя форма системы, определяющая способ взаимодействия составляющих систему компонентов. Она зависит от параметров элементов системы, связывает и преобразует их, придавая целостности системе, и обуславливает возникновение новых качеств, не присущих ни одному из элементов системы. Определение связей элементов системы и их изучение являются одним из центральных вопросов проектной эффективности, так как на этой основе определяются технические решения по системной увязке элементов. Структурные свойства систем определяются характером и устойчивостью взаимосвязей между элементами. Различают структуры, детерминированные характеризующиеся либо неизменными взаимосвязями, либо меняющимися по некоторому закону; вероятностные, если взаимосвязи описываются законами теории вероятностей; хаотические, если взаимосвязи элементов непредсказуемы.

Особое значение для исследования системных свойств имеет анализ устойчивости структуры. Структура не сразу следует за изменениями характеристик компонентов системы, а в определенных границах остаётся постоянной, сохраняя тем самым систему в целом.

Модернизация элементов системы не меняет её структуры. В тоже время глубокая модернизация всех элементов с появлением в некоторых из них новых возможностей может привести к целесообразности пересмотра структуры системы.

Проиллюстрируем системно-структурный аспект из опыта наших исследований динамики машинно-тракторного агрегата (МТА). МТА представляет собой сложную структурную динамическую систему. Нас интересовало влияние действующих нагрузок ходовой части на эксплуатационные показатели (мощность, крюковое усилие, расход топлива).

Определили корреляционные взаимосвязи нагрузок между передними колесами и задними правого и левого, а также крутящим моментом ведущих колес. В результате чего установили, что взаимосвязи вероятностные, коэффициент вариации колеблется в широких пределах и составляет 30-60%.

Четырехрядная система позволяет использовать крюковое усилие на посеве 28-33%, культивации – 40-55%, а на уборке двухрядной хлопкоуборочной машиной ХНП – 1,8 коэффициент загрузки двигателя находился в пределах 0,73-0,84.

Полученные данные позволили пересмотреть структуру системы в направлении увеличения ширины захвата и повышения эксплуатационных показателей МТА.

У шестирядной системы степень использования мощности трактора на посеве хлопчатника увеличилась до 0,38-0,55, на культивации – 0,38-0,63.

У хлопкоуборочной машины с мощностью двигателя 60 л.с. коэффициент загрузки двигателя находился в пределах 0,92-1,1, двухрядной – с мощностью двигателя 80 л.с. коэффициент загрузки двигателя составил 0,73-0,84. Это показало, что для двухрядной хлопкоуборочной машины мощность двигателя 60 л.с. недостаточна, а необходим двигатель с мощностью 80 л.с.

Системно-функциональный аспект предусматривает изучение функциональных зависимостей между элементами системы. Функции системы, представляют собой интегрированный результат функционирования образующих систему компонентов. Функциональная зависимость имеет место между компонентами данной системы, между компонентами и системой в целом, между системой в целом и другой системой, в состав которой она входит.

Системно-интегративный аспект предусматривает изучение системообразующих механизмов, присущих данной системе. Этот аспект характеризует факторы системности и свойства, обеспечивающие сохранение качественной специфики, её функционирование и развитие. Здесь выявляются новые качества, присущие системе в целом и не присущие каждому компоненту в отдельности.

Для технических систем, это связано с выявлением новых дополнительных возможностей системы, получаемых за счет правильного объединения отдельных её элементов.

Например, из опыта наших исследований посевного хлопководческого агрегата. С помощью полунавесной переоборудованной сцепки СН-35 были объединены три серийные сеялки с одним трактором (рис. 1.6).

Производительность такого сложного посевного агрегата, по сравнению с односеялочным МТА, увеличилась до 6,05-8,8 га/ч (у односеялочного агрегата составляла 1,98-2,88 га/ч). Расход топлива уменьшился до 1,45 кг/га (у односеялочного было 4,42 кг/га).

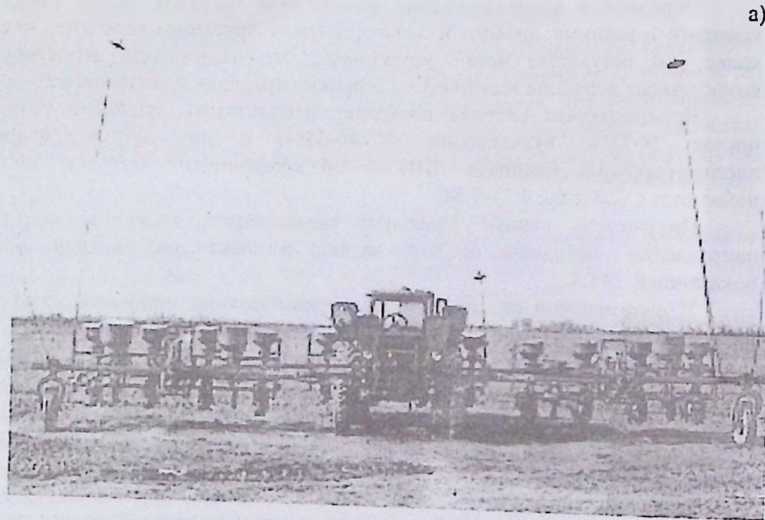


Рис. 1.6. Комбинированный широкозахватный посевной агрегат МТЗ – 82+СН-35-ЗСЧХ-ЗЛ+ПХГ. а) в развернутом положении; б) в транспортном положении.

Системно-коммуникационный аспект предусматривает изучение системы во взаимодействии с окружающей средой и выделение возмущающих факторов. Всякая система существует в определенной взаимосвязи с другими системами. Эти внешние по отношению к данной системе образования, с которыми система связана сетью коммуникаций, составляют её среду или окружение.

Пример. Для рассматриваемых технических систем, в частности, МТА изучение системно-коммуникационного аспекта может быть сведено к определению реакций от других систем, почвенно-климатических условий, диапазона температур, площади, состояния дорог, состояния полей и т.п.

Системно-исторический аспект направлен на изучение ретроспективы и перспективы развития системы, – требует представления системы в непрерывном его развитии. Каждая техническая система проходит этапы разработки, создания, эксплуатации и последующего совершенствования на новом уровне. Поэтому для изучения систем необходимо знать, как возникла данная система, какие этапы совершенствования проходила в своем развитии, какой она стала в настоящее время и какие перспективы развития имеет в будущем. Всякая система для своего формирования черпает материал из предшествующих и существующих систем. Новая система возникает на основе разрозненных сначала компонентов других систем с учетом опыта их создания.

Это позволяет использовать все лучшее, что накоплено в технике за время создания подобных систем. Вместе с тем, уже на этапе разработки системы необходимо исследовать перспективу её развития, т.е. предусмотреть возможность модернизации элементов. Это необходимо в связи с быстрым моральным старением некоторых элементов, а также в связи с существенным различием гарантируемых сроков эксплуатации элементов различного типа.

Следует отметить, что исследование сложных систем – творческий процесс. При этом те или иные аспекты системного подхода могут использоваться не полностью, может быть усилен какой-нибудь или несколько аспектов, однако всестороннее исследование предполагает только совокупное использование всех аспектов системного подхода. Так, рассматривая отдельные аспекты на примере конкретных систем, мы в той или иной мере затрагивали также и другие аспекты. Например, при выделении типовых компонентов системы учитывались одновременно функциональный, структурный и интегративный аспекты.

На рис. 1.7 схематично представлены единство и взаимосвязь рассмотренных аспектов системного подхода применительно к системе МТА.

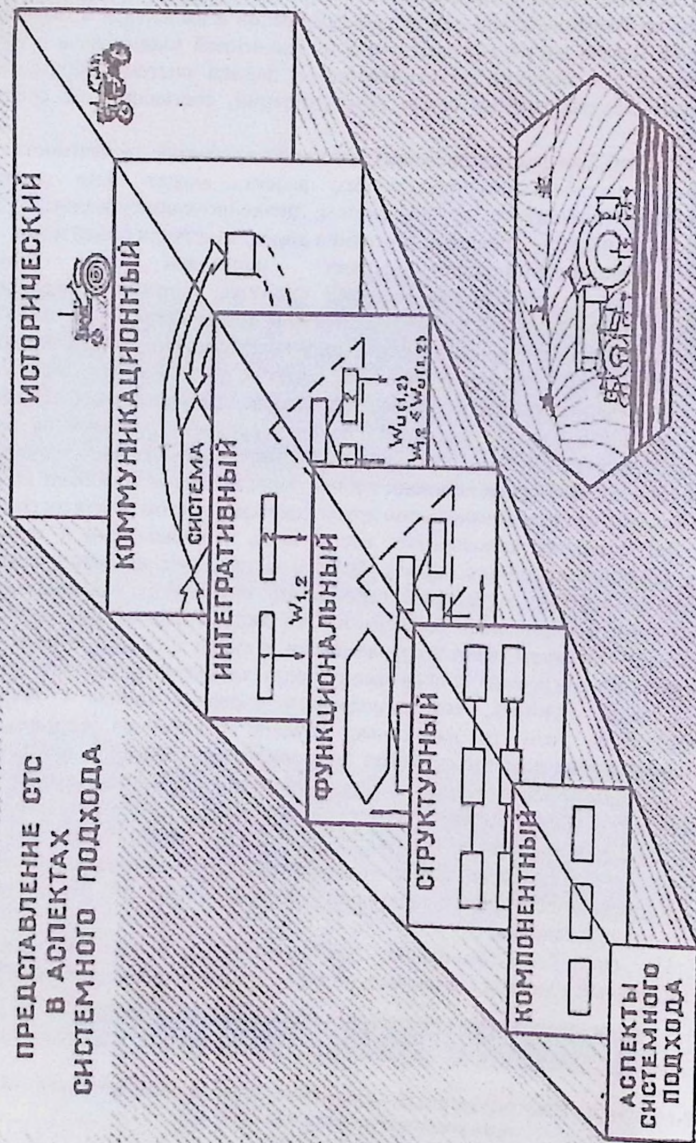


Рис. 1.7. Сложная техническая система в аспектах системного подхода

2. МЕТОДИКА ОПЫТОВ

2.1. Общее понятие о методике исследования

Существуют два понятия: методика и методология исследования.

Методика – это совокупность методов, приемов практического выполнения исследования.

Методология – это совокупность приемов исследования, применяемых в научном исследовании для решения какой-либо проблемы.

Например, для определения колебаний МТА нами была принята методика измерения ускорений колебаний объектов агрегата с помощью измерительных приборов (акселерометров), усилителя * АНЧ-7 и осциллографа Н-700. В процессе измерения по ходу движения агрегата для записи размечались десятиметровые участки в начале, середине и в конце гона.

Другой пример, для решения проблемы повышения эффективности МТА совершенствованием динамических характеристик и режимов их работы с учетом вероятного характера внешних воздействий и системного подхода при интенсивной технологии возделывания хлопка-сырца в единой технологической линии была принята методология.

Эта методология заключалась в следующем: рассмотрение МТА как многомассовых систем; жесткие требования к качеству выполнения технологических операций; комфортные условия рабочего места оператора; энерго- и ресурсосберегающие требования. Перечисленные положения выполнены на основании следующих подходов: вероятностного и системного подхода к изучаемой проблеме, т.е. комплексного учета разнообразных факторов и взаимосвязей между ними, влияющих на результаты её решения; поиска рационального и оптимального комплекса машин, совершенствования и разработки надежной энергоэкономической сельскохозяйственной техники.

Таким образом, методика относится ко всему исследованию и представляет стержневые способы и приемы, проходящие через все исследование, является общей. Для отдельных опытов (в пределах исследования) или серии опытов могут потребоваться специфические способы исследования. В таких случаях необходимо разработать частные методики, отличные от общей.

Методика исследования определяет оборудование, количество опытов, план работы, затраты времени и средств. Правильная методика – залог успеха исследования.

Общий путь исследования состоит от наблюдения к обобщению и от обобщения к проверке в жизни, на практике. Эти три ступени обязательны для законченного исследования. Первая ступень – наблюдение охватывает пассивную его форму (наблюдение без вмешательства в условия развития явления). Вторая ступень – наблюдение исследователем за развитием явления в определенных условиях, эксперимент. Прежде чем более подробно ознакомиться с проведением наблюдений, следует изучить широко применяемые средства наблюдения – измерения и отметка.

2.2. Основные измеряемые величины

Научные исследования, проводимые в области эксплуатации машинно-тракторных агрегатов, отличаются значительным разнообразием, поэтому измеряемые величины также весьма разнообразны. Так, при исследовании надежности тракторов и сельхозмашин приходится измерять износы деталей, т.е. их линейные размеры и вес; при исследованиях в области технической диагностики измерения могут относиться к кинематике движения отдельных узлов; перемещения, скорости и ускорения кинематических пар, а также к динамике: величины ускорений в отдельных узлах, напряжения, давления и т.д.

Исследования в области технического обслуживания, связанных с измерением времени (хронометраж), топлива, расходом эксплуатационных материалов и рядом других показателей. Основные измеряемые величины при научных исследованиях показаны в таблице 2.1. Диапазоны измеряемых величин широки. Например, линейные размеры могут меняться от микронов при измерении износов деталей до десятков и сотен метров при изучении тормозных путей автомобилей или путей их разгона. Давления приходится измерять от 400 до 500 мм рт.ст. при исследованиях системы питания (карбюраторных) двигателей и до 200 кгс/см² при изучении тормозных гидравлических приводов автомобилей.

Широкие пределы измеряемых величин предъявляют особые требования к измерительной аппаратуре. Одни и те же параметры, например, температуры, в одних случаях приходится измерять высокочувствительными термостатами, в других — обычными ртутными термометрами. Величину износа детали измеряют точным измерительным микрометром, а путь торможения или путь выбега автомобиля — мерительной лентой, которая может дать ошибку в 1-1,5 см. Поэтому одна из самых важных проблем правильной постановки экспериментов — это выбор соответствующей аппаратуры, подходящей для исследуемых параметров.

Таблица 2.1.

Основные измеряемые величины при научных исследованиях

Измеряемые величины	Характерные примеры измерений
Геометрические линейные размеры	Размеры и деформации деталей тракторов и СХМ, технологического оборудования. Зазоры в подшипниках, клапанах, свечах и др.
Объемы	Объемы баков и цистерн, рабочих цилиндров, объемы жидкостей.
Углы	Углы поворотов колес, рулевых тяг, углы МТА, углы между продольными осями дышла и прицепа.
Перемещения: линейные, угловые	Перемещения рычагов, штыков. Пройденный машиной путь. Тормозной путь. Путь разгона. Угловые перемещения колес, рычагов и др.

Продолжение табл. 2.1.

Амплитуды колебаний (вибраций)	Амплитуды колебаний колес, рамы, подрессоренных и неподрессоренных масс машины. Амплитуды вибраций двигателя и др.
Кинематические. Скорости движения: линейные, угловые	Скорости движения МТА, автомобиля. Скорости перемещения (линейные и угловые) рычагов и тяг; угловые скорости поворота рулевого колеса, управляемых колес машины. Скорость движения конвейера транспортной ленты и др.
Ускорения: линейные, угловые	Ускорения автомобиля при разгоне и замедлении при торможении. Ускорения колебаний колес, вибраций (линейные и угловые) подрессоренных масс машины, сиденья водителя. Угловые ускорения валов.
Частоты вращения	Частота вращения валов двигателя и трансмиссии машины. Частота вращения колес автомобиля. Частота вращения электродвигателей технологического оборудования.
Частоты колебаний, вибраций	Частоты колебаний и вибраций масс, сиденья водителя, кабины трактора.
Динамические. Массы	Взвешивание машин, прицепов, агрегатов, деталей агрегатов.
Расходы — жидкостей газов	Расходы топлива (объемные и мгновенные), расходы воздуха при испытании двигателя, при испытании пневмо-подъемника в пневмоприводе тормозов. Производительность компрессоров и водяных насосов и др.
Силы, усиления	Усилия в различных тягах, на крюке трактора и автомобиля. Усилия в гидро- и пневмоподъемниках. Реакции вертикальные и горизонтальные на колесах трактора и автомобиля при разных режимах движения.
Напряжения	Напряжения в отдельных точках конструкций, например, в рамах, кузовах на валах и т.д.
Давления	Давление в системах пневмо- и гидроприводов тормозов, в гидроцилиндрах подъемников. Разрежения во впускном трубопроводе.
Моменты сил	Моменты на коленчатом валу двигателя, валах трансмиссии машины, полуосях. Реактивные моменты в подвеске. Моменты затяжки креплений.
Работа	Величина работы подъема трения, сопротивлений сельхозмашин и др.
Мощности	Мощности на коленчатом валу двигателя, валах трансмиссии, мощности электромоторов технологического оборудования и др.

Другие величины. Время	Время движения, разгона и торможения автомобиля, трактора и др. Время срабатывания тормозного привода, механизмов подъема кузова и др.
Температуры	Температура охлаждающей воды, масла в картерах.
Цвета	Цвета побежалости.
Освещенность и сила света	Сила света фар. Освещенность рабочего места, яркость свечения дорожных сигналов и др.
Акустические сигналы	Шум в помещении, двигателя и других деталей и узлов. Стуки и шумы в отдельных агрегатах трактора и автомобиля.
Параметры структурных свойств	Определение твердости материалов. Жесткость воды.
Параметры химических свойств	Измерение вязкости масел, дизельного топлива. Анализ концентрации продуктов износа в картерном масле. Плотность электролита. Анализ выхлопных газов. Состав нагара. Примеси в масле. Анализ конденсата в тормозной системе и т.д.
Излучения	Радиометрические измерения при использовании активных радионуклидов.

2.3. Характеристики измерительной аппаратуры

Эксперимент представляет сложную систему, созданной для того, чтобы давать ответы на задаваемые вопросы. Система включает в себя объект исследования, установку или стенд, измерительную аппаратуру, а также комплекс подготовительных операций к эксперименту, план эксперимента, данные эксперимента, их обработку и анализ.

Если эксперимент проводился в натурных производственных условиях или заключается в пассивном наблюдении, то материальное оборудование состоит лишь из объекта исследования и измерительной аппаратуры. Если же проводится лабораторный эксперимент, то объект эксперимента устанавливается на специальный стенд (установку). Например, автомобиль или трактор устанавливается на роликовый или барабанный стенд, коробка передач – испытательный электростенд и т.д.

Исследовательские испытательные стенды являются имитаторами, стимуляторами или регуляторами режима, на котором исследуется объект. Стенд – имитатор поддерживает заданный режим работы объекта. Например, барабанный стенд для исследования машины может поддерживать постоянный или переменный скоростной и нагрузочный режимы движения машины. Другой пример, для исследования подвески машины имеется стенд, который сбрасывает переднюю или заднюю ось с некоторой высоты, а специальный прибор записывает при этом колебания подвески.

Стенд позволяет изменять в заданных пределах режим работы объекта, переходить от одного режима к другому. Например, стенд для испытания двигателей с тормозной установкой даёт возможность проводить испытания двигателей при различной частоте вращения коленчатого вала и при разной степени нагрузки.

Исследуемые параметры объекта фиксируются измерительной аппаратурой, построенной на принципе преобразования измеряемой величины в электрический сигнал.

Например, измерение расхода топлива по понижению его уровня в баке (рис. 2.1). Измеряемой величиной является высота h уровня, которая воспринимается поплавком 1, укрепленном на рычажной передаче 2. Изменение величины h вызывает перемещение движка реостата 3 и изменение длины l его ветви, включенной в электрическую цепь. Реостат с равномерной намоткой (реостатный преобразователь) дает однозначную зависимость сопротивления R цепи от её длины l . Электрическая цепь при условии постоянства всех её электрических параметров, кроме сопротивления реостата, обеспечивает однозначную зависимость тока J от сопротивления R . Поэтому шкала электроизмерительного прибора 5 (обратный преобразователь) градуируется непосредственно в значениях величины уровня. Структурная схема показана на рис. 2.1 б.

Структура большинства электрических приборов для измерения неэлектрических величин включает датчик, регистратор или измерительное устройство с источником питания, усилитель для усиления первичного сигнала (по необходимости).

Преобразователь – это устройство, воспринимающее измеряемую величину (давление, деформацию, силу и т.п.) и преобразующее её в величину, удобную для передачи по линиям связи, усиления, измерения или регистрации электрическим средством.

Датчик – более общее понятие. Датчик – это конструктивно завершённый преобразователь, предназначенный для измерения вполне определенной величины (датчик давления) независимо от принципа преобразования. В названии датчика указывается принцип преобразования, например «тензометрический датчик напряжения».

Усилитель – это промежуточный элемент измерительной аппаратуры; как показывает само его название, предназначен для усиления сигнала, поступающего от датчика. Если величина этого сигнала достаточно велика, например, у тахогенератора, то усилитель может в схеме отсутствовать.

Регистратор – измерительное устройство, служит для регистрации величины напряжения или тока, в которую преобразованы неэлектрические измеряемые величины. В качестве измерительного устройства обычно используются показывающие приборы, стрелочные или цифровые, например вольтметры, а в качестве регистраторов – самописцы перьевые, катодные и шлейфные (вибраторные) осциллографы и магнитные регистраторы.



Рис. 2.1. Схема преобразования измеряемых параметров

Наиболее существенный элемент в измерительной аппаратуре — преобразователь от которого зависит правильность проводимого эксперимента. По принципу работы преобразователи подразделяются на активные (генераторные) и пассивные (параметрические).

Активные преобразователи. Механическая измеряемая величина непосредственно преобразуется в электрический сигнал, который генерируется с соответствующим напряжением или частотой, вследствие чего активный преобразователь не требует питания. Например, магнитно-электрический датчик, используемый в сейсмологии.

Пассивные преобразователи. Механическая измеряемая величина изменяет параметры электрической схемы (емкость, сопротивление и т.п.). Пассивный преобразователь требует для себя источник питания.

Преобразование механической величины в электрический сигнал не всегда удается осуществить непосредственно; иногда требуется промежуточное преобразование. Например, в тензометрических преобразователях (пассивный тип) измеряемая механическая величина, например усиление, преобразуется в деформацию упругого элемента, а последняя уже изменяет электрическое сопротивление тензометрического преобразователя.

К наиболее распространенным пассивным преобразователям относятся многочисленные резисторные преобразователи: контактные, реостатные, тензорезисторы, емкостные преобразователи, а также многие и другие электромагнитные преобразователи.

К активным преобразователям относятся пьезоэлектрические и индукционные преобразователи, в том числе тахогенераторы. Механическая или неэлектрическая величина может быть измерена с использованием датчиков, имеющих различный принцип преобразования.

К датчикам предъявляются технико-экономические требования, которые зависят от конкретных условий их применения. К основным относятся:

- определенность и однозначность зависимости (по возможности линейной) между входной измеряемой величиной и выходной величиной сигнала, т.е. отсутствие гистерезиса;
- высокая чувствительность к изменениям измеряемой величины, т.е. возможно большая величина отношения изменения выходной величины к изменению входной измеряемой величины;
- минимальное изменение измеряемой величины, вызывающее изменение выходного сигнала;
- минимальное обратное воздействие датчика на измеряемую величину;
- стабильность характеристик датчика во времени при изменении условий внешней среды (температуры, влажности и т.д.);
- устойчивость к внешним воздействиям: механическим — вибрация, химическим и др.

3. ПЛАНИРОВАНИЕ, ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

3.1. Количество опытов

Экспериментальное исследование может состоять из одной или нескольких серий опытов. Следует руководствоваться двоякого рода положениями, определяющими общее количество опытов, как сумма разовых измерений и отметок в каждой серии.

Количество опытов зависит от предполагаемого характера кривых функциональных зависимостей. Надо такое минимальное количество точек, которое хорошо представило бы предполагаемую экспериментальную кривую.

Положение прямой вполне определено двумя точками. Если исследователь уверен в том, что данная зависимость прямая, он назначает два опыта с достаточным промежутком между ними (близко к пределам), чтобы увеличить точность положения прямой.

Дуга, описанная одним радиусом, вполне определяется тремя точками, которые следует расположить так: две близко к пределам и одну в середине, чтобы точнее найти положение кривой. Для сложных кривых такого количества опытов недостаточно. Сложную кривую рассматривают как комбинацию прямых и простых кривых, описывать каждый перегиб кривой, полученной, по меньшей мере, тремя опытами; каждый участок близкий к прямолинейному, двумя опытами.

Если требуется установить не только общие закономерности, но и, возможно более точно численные значения функций, каждый перегиб кривой должен быть обоснован минимум пятью опытами. К такого рода кривым относятся, например, кривые характеристик автотранспортных двигателей, так как по их численным значениям оценивают конструкции.

Особо тщательно должны изучаться резкие перегибы кривых или скачкообразные изменения развития явления, так как эти перегибы могут характеризовать переход количественных изменений в качественные, и бывает важно наиболее точно определить момент такого перехода.

Необходимо также считаться со случайными ошибками опыта. Для уменьшения значения таких ошибок опыты целесообразно многократно повторять и брать среднюю арифметическую. Из теории ошибок известно, что количество опытов или измерений одной и той величины зависит от стандарта измерений (среднеквадратического отклонения) и заданной надежности результата. Под надежностью подразумевается вероятность получения тех же результатов при новых измерениях этой же величины или вероятность тех же результатов при повторении опыта в аналогичных условиях. При значительных относительных колебаниях результатов и большей надежности опыта должно быть и больше повторностей.

Наиболее строго эта зависимость установлена В.И.Романовским. В таблице 3.1. показана зависимость между необходимым числом повторностей опыта (измерения) и заданными надежностью и относительной ошибкой.

Таблица 3.1.

Необходимое количество опытов (измерений)

Ошибка Δ в долях стандарта	Надежность опыта Н							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	0.99	0.999
3.0	1	1	1	1	2	3	4	5
2.0	1	1	1	2	3	4	5	7
1.0	2	2	3	4	5	7	11	17
0.5	3	4	6	9	13	18	31	50
0.4	4	6	8	12	19	27	46	74
0.3	6	9	13	20	32	46	78	127
0.2	13	19	20	43	70	99	171	277
0.1	47	72	169	266	273	387	668	1089
0.05	183	285	431	659	1084	1540	2659	4338
0.01	4543	7090	10732	16436	27161	38416	66358	108307

Для того, чтобы найти по этой таблице необходимое количество опытов (измерений одной и той же величины), необходимо задаться надежностью Н и ошибкой Δ , взятой в долях стандарта σ . Абсолютное значение стандарта зависит от точности измерительного прибора, поэтому и надежность измерений зависит от точности измерительного прибора и от количества измерений.

Выбор надежности будет зависеть от желаемой точности получения результатов исследования. Строгих правил в выборе надежности нет. Для измерений, связанных с конструкциями машин, вполне достаточна надежность 0.9. При определении деталей, закономерностей и значений величин, являющихся основой для дальнейшего расчета, необходима надежность Н = 0.99.

Если поисковые опыты не проводились, и нет данных, по которым можно было бы установить значение среднего квадратического отклонения (стандарта) σ , можно принять, что предельная ошибка приближенно равна наибольшей возможной статистической, то есть $\Delta = \pm 3\sigma$.

Приведем примеры пользования табл. 3.1. При измерении переменных величин табл. 3.1 можно использовать для установления наиболее вероятной ошибки средней колеблющейся величины при заданной надежности, если известны средняя, количество измерений и стандарт. Например, мы произвели 250 замеров тягового сопротивления машины и вычислили среднее сопротивление 502 кг и стандарт 63 кг. Зададимся надежностью 0.9. Берем ближайшее к 250 число измерений в этом столбце 273 и получаем ошибку средней 0.1. σ или 0.1. $63 = 6.3$ кг. Таким образом, действительное значение среднего тягового сопротивления машины находится в пределах 502 ± 6.3 кг. При необходимости более точные данные из табл. 3.1 получают интерполированием.

Рассмотрим примеры при помощи табл. 3.1. Необходимо установить, сколько опытов или измерений надо выполнить при избранных нами точности и надежности вычисления средней.

Выяснилось, что сопротивление плуга колеблется, и запись сопротивления даст кривую с колебаниями разной частоты и амплитуды. В таких случаях для дальнейших вычислений следует брать более типичные по амплитуде и периоду колебания.

Тип колебаний выбирают в зависимости от цели исследования. При вспашке может быть несколько вариантов выбора типичных колебаний. Если целью исследования явилось установление влияния конструкции ходового устройства трактора на динамику плуга, то в этом случае исследователь ищет характерные колебания, связанные с перематыванием гусениц. Во – вторых, если по цели исследования обработка комплексных почв должна совершаться без переключения передач, типичными будут колебания на почвах с высоким сопротивлением.

При проверке узлов и деталей на прочность исследователя интересует максимальные амплитуды. Другой пример, исследовалась вспашка культурных почв. В этих условиях на пятиметровом участке пройденного пути агрегатом получены стандарт $\sigma_d = 363$ кг и средняя сопротивляемость $R = 1490$ кг/

Какой должна быть минимальная длина пути плужного агрегата при работе в этих условиях, чтобы ошибка среднего сопротивления не превышала 2% при надежности 0.99. Отделим рассеяние точек, зависящее от взаимодействия «плуг-почва», от рассеяния, вызываемого ошибкой прибора. При тарировке динамометра получили $\sigma_n = 18$ кг. Тогда, искомое рассеяние будет равно: $\sigma_0 = \sqrt{\sigma_d^2 - \sigma_n^2} = \sqrt{363^2 - 18^2} = 362$ кг, а абсолютная ошибка средней: $1490 \cdot 0,02 = 30$ кг. Вычислим эту ошибку в долях стандарта:

$$\Delta = \frac{30}{362} = 0,083.$$

По таблице 3.1 и ближайшей величине $\Delta = 0,1$ находим, что необходимое количество колебаний сопротивления равно 668. Принимая, что на единицу длины ленты динамографа количество колебаний остаётся более или менее постоянным, получим минимальную протяженность пути, обеспечивающую результаты с надежностью 0,99 при ошибке средней около 2%: $\frac{668}{33} \cdot 5 = 101$ м, где 33 – типичные колебания сопротивления плуга, полученные на отрезке ленты динамографа, соответствующем 5 м пройденного пути. Использование таблицы 3.1 многообразно и не ограничивается приведенными примерами.

Из таблицы 3.1 видим, что доверительные интервалы растут с увеличением надежности и уменьшением числа опытов.

Исследователь стремится увеличить надежность результатов и уменьшить доверительные интервалы, что равносильно уменьшению ошибки вычисленной средней.

Существуют два взаимосвязанных пути уменьшения доверительных интервалов:

- уменьшение численного значения стандарта, что при данном числе опытов (измерений) зависит только от применения более точных приборов и более совершенной методики опытов; точные приборы дороже и при этом

увеличиваются прямые затраты на опыт за счет амортизации и ремонта этих приборов; если более точные приборы надежны – это лучший путь;

- увеличение числа опытов в тех же условиях, если это возможно; этот путь связан с дополнительными затратами времени и рабочей силы.

В сельскохозяйственном производстве все процессы случайные, поэтому при исследовании этих процессов используют теории вероятности и случайных процессов. Согласно этой теории количество замеров должно быть минимум 200. [10, 45].

3.2. Подготовка к опытам

После установления рабочей гипотезы разрабатывают методику, план опытов и ведут подготовку к их проведению.

Разрабатывают лабораторные или полевые журналы, приобретают, производят, просматривают и калибруют приборы, инструменты и т.д.

Журнал заранее оформляют в соответствии с методикой и планом опытов, так, чтобы раскрыв его, можно было сразу понять, что и в какой последовательности надо делать. Измерениям, проводимым в одной из серий опытов, отводят не менее одной страницы или разворота журнала. Не рекомендуется записывать на эти же страницы результаты других опытов. В заглавии таблицы измерений указывают дату опытов, объект измерений, основные приборы и оборудование, а также некоторые общие условия, при которых проводились измерения (состав и состояние почвы, температура, давление и др.). Если отдельные измерения в течение одного опыта повторяются, для них отводят отдельные графы. Все графы данной серии опытов нумеруют. Последовательность граф в журнале должна соответствовать наилучшей последовательности измерений.

Относительно подготовки оборудования для проведения опытов трудно дать какие-либо конкретные советы, так как оно может быть самым разнообразным. При подготовке оборудования обеспечивают полную надежность и безотказность действий приборов и механизмов, а также необходимую точность измерений.

При установке приборов и оборудования для измерений следует учитывать как удобство оперирования и отчетов, так и возможность воздействия на приборы окружающей обстановки. При визуальных отсчетах шкалы приборов должны быть хорошо освещены и находиться, в положении, исключающем кажущееся смещение рассматриваемого предмета.

Дополнительные детали (штепсели, гири, осциллографическая бумага и т.д.) размещают в строго определенных местах для удобства пользования во время измерения. Положение исследователя, измеряющего или управляющего приборами, должно быть возможно более естественным, не вызывающим утомления. При проведении опытов надо соблюдать технику безопасности труда участников измерений. Все приборы следует устанавливать правильно и устойчиво и, если требуется, с соответствующими амортизационными устройствами. Установка приборов не должна влиять на исследуемый

технологический процесс или конструкцию. Перед опытом аппаратуру необходимо опробовать.

Динамограммы, фотографии, различные измерения и отметки необходимо нумеровать. Порядок нумерации устанавливают заранее. Весьма удобна нумерация, состоящая из сокращенной даты и номеров основного опыта и документа.

3.3. Планирование многофакторных исследований

В данной работе, рассчитанной на начинающих исследователей, нет необходимости подробно излагать планирование комплексных многофакторных исследований. Однако начинающий исследователь должен быть знаком с некоторыми особенностями такого планирования, которые могут оказаться полезными для исследований в области механизации сельского хозяйства.

Приблизительно многофакторные исследования можно разделить на две группы.

К первой относятся исследования, в которых можно многообразно изменять по желанию состав факторов, действующих на развитие явления так, что в каждом опыте или в каждой серии опытов вводят один фактор вместо какого-либо другого или вводят дополнительный фактор, причем взаимосвязи между ними неизвестны или малоизвестны. Примером является исследование различных сплавов в различных условиях с целью получения максимальной твердости, или максимальной износостойкости, или максимальной пористости и т.д. Обычно при этом не преследуется цель получения аналитических зависимостей, но и возможно.

В этой группе исследований почти всегда известны факторы, которые устранять нельзя, а можно лишь изменять их уровень. В таких случаях наиболее эффективным методом крутого восхождения. Для планирования составляют план опытов и варьирования факторов. В таблице планирования в первой строке указывают закодированные факторы, а в первом (слева) столбце — закодированные названия опытов; остальная часть таблицы должна заполняться результатами. При составлении таблицы заранее исключают перекрещивающиеся (дающие одинаковые результаты в идентичных условиях) опыты.

Планы календарных затрат труда и средств составляют отдельно.

Ко второй группе относятся исследования, в которых ставится задача найти аналитическую зависимость развития явления при действии нескольких взаимовлияющих факторов (обычно 3-6). Для этого используют корреляционный анализ. Окончательный вывод признаётся достаточным при получении полурациональных формул (то есть формул, в которые примерно в равном количестве входят размерные величины и безразмерные коэффициенты).

При осциллографической записи и получении сотен или тысяч ординат лучше использовать электронно-вычислительные машины.

3.4. Проведение опытов и их предварительная оценка

При проведении опытов необходимо полностью соблюдать разработанную методику. Никогда не следует изменять методику в ходе исследования, её можно лишь дополнять или, прекратив исследование, разработать новую и начать опыты вновь.

Если измерения прерывают из-за неисправностей аппаратуры на длительное время, надо, устранив их, снова подготовиться к измерениям и всю серию (опытов) измерений выполнить сначала.

Тот, кто записывает результат измерений, должен всё своё внимание сосредоточить на точности отсчетов и правильности записей.

Нельзя произвольно изменять результаты измерений (записывать не то, что показывает прибор, а что кажется правильным), необходимо отбрасывать некоторые измерения, переносить точки опытов после их проведения и т.д.

Опыты могут опровергнуть теоретические построения, которые исследователь считает правильными, все исследование должно быть объективным от начала до конца.

Записи в журнале должны быть четкими и ясными. Надо заносить в примечании все появляющиеся при опытах и начальной обработке мысли, соображения, доводы за и против, отдельные интересные факты и др.

Следует стремиться к тому, чтобы результаты каждого опыта обрабатывать сразу же после его проведения. Систематическая обработка опытных данных — залог успеха.

Особые трудности возникают в тех случаях, когда объекты исследования территориально разбросаны, например, исследования проводятся одновременно в нескольких бригадах. Необходимо при этом стремиться к тому, чтобы ежедневно получать сводки. Для успешного проведения итогов измерений следует разработать подробные коды и, если необходимо, карты.

По первоначальной обработке производится предварительная оценка. Иногда опытами устанавливают, что принятая методика является недостаточно полной. Например, при исследовании высевы семян дисковыми аппаратами в первых опытах может быть выявлено, что необходимо изучить работу дисков с большими, чем это принято в методике, отверстиями. Возможно также, что понадобятся исследовать влияние новых факторов, ранее считавшихся дополнительными. В таких случаях принятую методику надо дополнять, в ходе самого исследования, принимая во внимание влияние этих дополнений на план опытов, на календарные сроки работы и затраты средств.

Ошибочность рабочей гипотезы выясняется если продолжение опытов дает результаты, отличные от рабочей гипотезы, на закономерные располагающиеся. В этом случае надо установить физико-механические или биологические основания ошибочности принятого варианта рабочей гипотезы и соответствие принятой методики новой закономерности развития явления. Если физико-механические или биологические основания новой закономерности установлены, а принятая методика обеспечивает получение результатов с достаточной точностью, опыты следует продолжать.

Иным должно быть решение, если результаты опытов нельзя привести к какой-либо закономерности. В этих случаях на основе полученных данных следует критически рассмотреть принятую методику и провести, если понадобится и окажется возможным, поисковые опыты.

3.5. Особенности осциллографической записи

При исследовании МТА в полевых условиях наиболее применимы три схемы организации осциллографической записи измеряемых величин:

- Осциллографическое оборудование располагают стационарно. Механических сотрясений нет, но необходим достаточно длинный многопроводный кабель с экранировкой проводов и с системой намотки и разматки, практически исключающий искажения измерений.

- Осциллографическое оборудование, установленной на отдельной машине, передвигается по полю параллельно исследуемой машине. В этом случае требуется достаточная амортизация соответствующего оборудования. Кабель с экранированными проводами значительно короче и не касается земли, но синхронизация движения обоих агрегатов затруднена.

- Осциллографическая аппаратура смонтирована на прицепе в общем агрегате впереди, сзади или рядом с исследуемой машиной. При такой схеме прицеп не должен влиять на измеряемые величины. Проводка – самая короткая. Экономятся энергетические средства. Скорость прицепа и исследуемой машины одинаковая.

Вариантом этой схемы является размещение осциллографической аппаратуры на тракторе.

Для уменьшения искажений при любом источнике питания осциллографической аппаратуры необходимо надежно стабилизировать напряжение в сети питания.

При полевых опытах вся аппаратура должна обладать высокой надежностью, начиная с разъемов и контактов.

Кабели, особенно длинные и многожильные, перед установкой проверяют тестером; входной и выходной конец каждой жилы многожильного кабеля должен иметь свою отметку. В процессе эксплуатации кабель неоднократно проверяют.

Для записи динамических механических величин электрическими методами широкого распространения получили магнитоэлектрические осциллографы, например, осциллограф Н-700, который синхронно может записывать 14 измерений.

В результате синхронной записи на осциллографической бумаге появляются кривые измеряемых параметров. Чтобы определить значение любой ординаты кривой, надо на бумаге записать базы отсчета, или, иначе, нулевые линии. Нулевые линии прочерчиваются шлейфами с неподвижными зеркальцами и представляют собой прямые по всей длине осциллограммы. В зависимости от типа осциллографа, ширины бумаги и скорости записи одна нулевая линия берется на 2-4 кривых; нулевые линии располагаются так, чтобы

было удобно проводить запись. Не рекомендуется увлекаться шлейфами высшей чувствительности. Каждую нагрузку датчика записывают осциллографом на коротком отрезке так, чтобы вся калибровка была показана ступенчатой линией примерно на 0,5-2 метровом отрезке бумаги. Этот отрезок хранят, надписывая над каждой ступенью нагрузки, а на обороте – код датчика, номер шлейфа, параметр и дату. Контрольный сигнал осциллографического оборудования соразмеряют с калибровочными записями.

Во время лабораторных работ перед записью при разгруженных датчиках сначала проверяют установку их шлейфа на нулевую линию, а после окончательной установки делают краткую запись (на 10-20 см бумаги), проследив, не было ли при этом отклонения какого-либо шлейфа от его нулевой линии. Если все в порядке проводят рабочую запись, а затем повторяют краткую запись при разгруженных датчиках. После проявления, прежде всего сличают оба конца – если записи всех шлейфов при разгруженных датчиках совмещены со своими нулевыми, а последние также совпадают по началу и концу записи – запись предварительно считают правильно выполненной.

Из всего предыдущего изложения следует, что методика проведения экспериментов тесно связана с методами их обработки. Поэтому мы рекомендуем читателю не ограничиваться этим разделом и приступить к знакомству обработки экспериментальных работ [9, 12, 105].

4. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ДАТЧИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

4.1. Датчики и их тарировка

Для измерения сил и деформации (растяжений и сжатий) широкое распространение имеют тензометры, которые бывают проволоочные и фольговые.

Проволоочные тензометры представляют собой плоскую проволоочную спираль (решетку) составляющую из нескольких витков, наклеенную на тонкую бумажную или лаковую пленочную основу (рис. 4.1.).

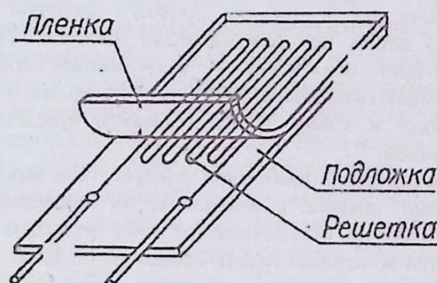


Рис. 4.1. Проволоочный тензометр

Сверху решетка защищена бумагой или пленкой. Проволоочные тензометры выпускаются серийно с номинальным сопротивлением от 5 до 500 Ом и с базой (длиной решетки) от 5 до 30 мм. Максимальная относительная деформация не должна превышать 0,3 процента в пределах упругой деформации.

Наиболее употребительным материалом для изготовления тензорешетки является константановая проволока диаметром 0,020-0,030 мм.

Фольговые тензометры имеют решетку, изготовленную не из проволоки, а из тонких полосок фольги прямоугольного сечения (0,004-0,012 мм), наклеенных на лаковую основу. По сравнению с проволоочными тензометрами фольговые имеют два существенных преимущества. а) увеличенную силу рабочего тока — до 0,2 А, вместо 30 мА, что резко повышает их чувствительность; б) возможность изготовления тензорешетки любой формы и рисунка, что упрощает их монтаж и позволяет лучше приспособиться к различным условиям измерений.

Тензометры наклеиваются на деформируемую в процессе эксперимента деталь, например на болт, на которой измеряется величина крутящего момента, или на раму автомобиля, трактора, сельхозмашины, если необходимо изучить напряжение на ней. Правильная работа тензометра в очень большой степени зависит от клея и качества их наклейки. Поверхность наклейки должна

быть гладкой без шероховатостей. До наклейки поверхность обрабатывают ацетоном или растворителями марок 646", 347".

Затем поверхность намазывают тонким слоем клея ВФ-2 или «Моментом», а также одновременно промазывается подложка тензодатчика. После нескольких минут просушки тензодатчик наклеивается на подготовленное для него место на детали. При наклейки необходимо внимательно следить, чтобы под подложкой не оставались пузырьки клея. Пузырьки клея устраняются прокатыванием цилиндрическим предметом по поверхности тензометра. Это надо делать так, чтобы не повредить тензодатчик.

Основные схемы расположения тензодатчиков при измерении деформации, напряжения и сил можно видеть в табл. 4.1. Область применения тензометров широка. Непосредственно тензометры позволяют измерять напряжение и деформации в различных узлах автомобиля, трактора, сельхозмашины, технологического оборудования и в строительных конструкциях.

Тензометры применяются в датчиках давления, представляющих собой трубку с утолщенным дном. Используют тензометры в датчиках измеряющих ускорения колебаний, которые получили название «акселерометры» (рис. 4.2.).

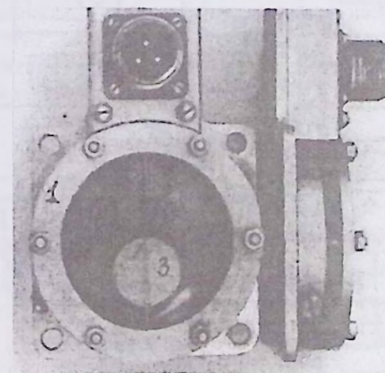


Рис. 4.2. Акселерометр «АЭ» для измерения линейных ускорений в различных частях машин и механизмов 1-корпус; 2-балка; 3- грузик; 4-демпфирующая жидкость (масло силиконовое); 5-проволоочный тензометр.

Акселерометр представляет собой цилиндрическую полость, в которой помещена плоская пружина с закрепленной на конце массой (рис. 4.2.). Принцип работы акселерометра основан на измерении силы инерции консольно закрепленной массы. При воздействии на прибор вектора ускорения, лежащего в плоскости перпендикулярной оси пружины и плоскости и прибора, пружина деформируется силами инерции. Деформация измеряется проволоочными тензометрами, наклеенными на пружину. Цилиндрическая полость

акселерометра заполнена демпфирующей жидкостью «Силикон тип № 1», вязкость силикона тип №1 составляет 275 сантистокс.

Таблица 4.1.

Основные схемы расположения датчиков при измерении деформаций, напряжений и сил

Планируемая деформация или напряжение	Схема расположения датчиков при измерении на детали	Электрическая схема при измерении	Схема расположения датчиков на тарировочной балке	Электрическая схема при тарировке
Растяжение сжатие				
Изгиб				
Растяжение				
Изгиб				
Кручение				
Растяжение				
Перерезывающая сила				

Тензометры также используются в тарировочных приспособлениях. Одно из широко используемых приспособлений для тарировки самих тензометров и акселерометра является тарировочная упругая балка равного сопротивления (рис. 4.3.).

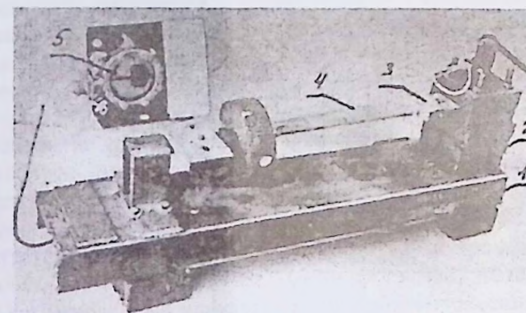


Рис. 4.3. Тарировочная балка. 1-основание, 2-набор квадратных плиток для крепления балки, 3-наклеенный тензометр, 4-упругая балка равного сопротивления, 5-акселерометр.

Тензодатчики объекта исследования соединяются по схеме (рис. 4.4.). В зависимости от величины сигнала, поступающего от тензодатчика, могут и не применяться усилители сигналов.

Однако в большинстве случаев сигналы, поступающие от тензодатчиков настолько малы, что возникает потребность применения усилителей. Наибольшее применение находят усилитель 8 АНЧ-7М, рассчитанный на восемь параметров измерения.

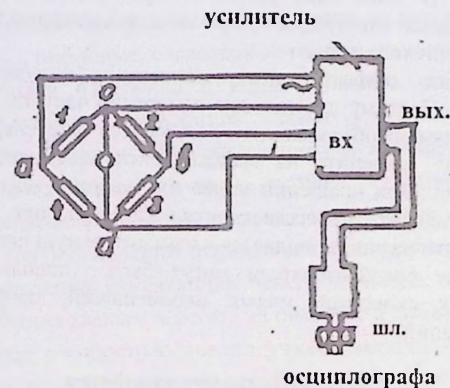


Рис. 4.4. Соединение тензодатчиков по схеме «Мост Уинстона» с аппаратурой.

При использовании усилителя 8 АНЧ-7М тензодатчики соединяют в полумост «Уинстона» (рис. 4.5).

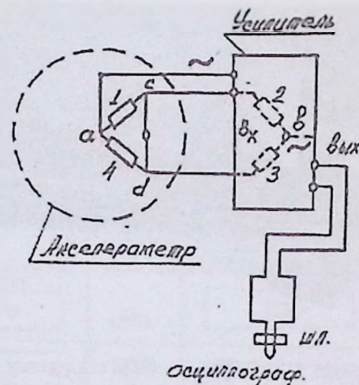


Рис. 4.5. Соединение термодатчиков по полумостовой схеме.

Для измерения оборотов могут использоваться контактные преобразователи, у которых измеряемая величина, чаще всего механическое перемещение, преобразуется в замкнутое или разомкнутое состояние контактов, управляющих электрической цепью измерительного устройства. Обычно замыкание контактов изменяет сопротивление в цепи скачками, т.е. измерение проводится дискретно.

Измерение оборотов можно производить индукционными преобразователями. В этом типе активных преобразователей используется явление индуктирования электродвижущей силы в электрическом контуре при пересечении им магнитного поля.

Здесь тот же эффект электромагнитной индукции, что и в электрогенераторах. Поэтому датчики для измерения частоты вращения валов, колес с индукционным преобразователем называются тахогенераторами.

Можно магнит закрепить на вращающейся части детали, а катушки неподвижно на раме. При вращении колес или валов с магнитом магнитное поле постоянного магнита пересекает витки катушки, при этом в катушке возникает ЭДС, которая далее подается в измерительную цепь.

Индукционные преобразователи могут быть использованы также в датчиках линейных скоростей малых перемещений, например, клапанов двигателя или вибраций.

4.2. Измерительные устройства

Электрические сигналы, вырабатываемые рассмотренными выше датчиками, подаются на измерительное устройство, которое предназначено для численной оценки результатов измерения исследуемой величины.

Выбор измерительных устройств зависит от характера измеряемой величины и скорости ее изменения во времени. Эта скорость определяет требования к быстродействию измерительного устройства. Так, при измерении среднего значения исследуемой величины, а также медленно изменяющегося во

времени процесса выбирается измерительное устройство с малым быстродействием, при измерении мгновенных значений быстропеременного процесса надо выбирать измерительное устройство с большим быстродействием.

По способу снятия отсчета измеряемой величины измерительные устройства делятся на две группы: а) визуальные указатели, это приборы, имеющие стрелочное, оптическое (экран), также при исследовании явлений на постоянных режимах, например, при получении характеристик двигателя на постоянных оборотах коленчатого вала;

б) регистрирующая аппаратура для регистрации быстро изменяющихся во времени величин, когда на носителе (фотокиноплёнке, фотобумаге и т.д.) записываются все мгновенные значения непрерывного процесса.

Тип измерительного устройства зависит от мощности сигнала, вырабатываемого датчиком. Поэтому датчики следует разделить на три группы: 1) мощные преобразователи (десятки милливатт). К ним относятся контактные, реостатные, реакторные, тахогенераторы, термодатчики, индукционные и индуктивные. Эти преобразователи могут работать без усилителей в измерительной цепи;

2) маломощные преобразователи (десятки микроватт, проволоочные тензометры, емкостные, фотосопротивления). При их применении необходимо включение в измерительную цепь усилителей;

3) преобразователи, требующие измерительные устройства с большим входным сопротивлением. К ним относятся пьезоэлектрические преобразователи.

Регистрирующая аппаратура подразделяется на визуальные (амперметры, вольтметры и др.), цифровые, с высокой точностью измерения и возможностью передачи результата измерения в вычислительные цифровые машины. К цифровым указателям относятся также суммирующие цифровые электромагнитные счетчики, обеспечивающие визуальный отсчет.

Быстро протекающие процессы удобно регистрировать с помощью электронного осциллографа. Применение электронно-лучевого осциллографа целесообразно для наблюдения периодических процессов типа колебаний и относительно медленно изменяющихся непериодических процессов, например, траекторий движения звеньев агрегата на повороте и автомобильного поезда.

Наибольшее распространение получили самопишущие электроприборы (самописцы), магнитоэлектрические осциллографы и магнитографы.

Принципиальную схему магнитоэлектрического осциллографа можно видеть на рис. 4.6.

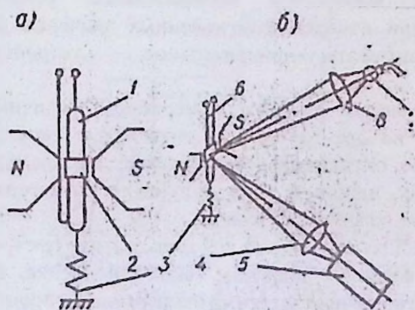


Рис. 4.6. Принципиальная схема магнитоэлектрического осциллографа. а) рамочный вибратор; б) оптическая схема. 1—рамка, 2—зеркальце, 3—растяжка, 4—линза, 5—фотокамера, 6—петля, 7—осветитель, 8—оптическая система.

Общая схема расположения датчиков на агрегате и соединение их с аппаратурой показаны на рис. 4.7 и 4.8.

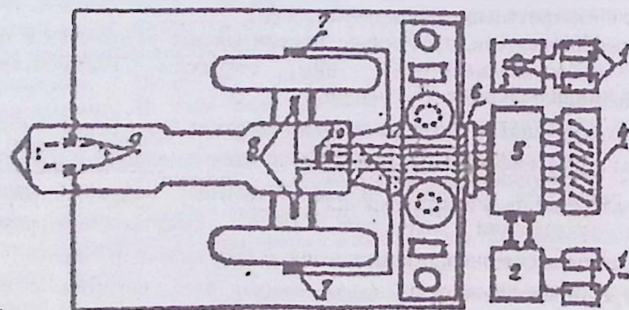


Рис. 4.7. Схема расположения датчиков посевного агрегата и соединение их с аппаратурой.

- 1-12 — вольтовые аккумуляторы, 2 — блок питания усилителей ПБП, 3 — осциллограф Н-700, 4 — пульт управления, 5 — усилитель 8АНЧ-7М, 6 — соединительный щиток, 7 — датчики, измеряющие крутящий момент ведущих колес, 8 — тензодатчики измерения вертикального изгибающего момента задних балок, 9 — тензодатчики, измеряющие вертикальный изгибающий момент оси переднего колеса, 10 — акселерометр, измеряющий вертикальные ускорения колебаний сиденья водителя.

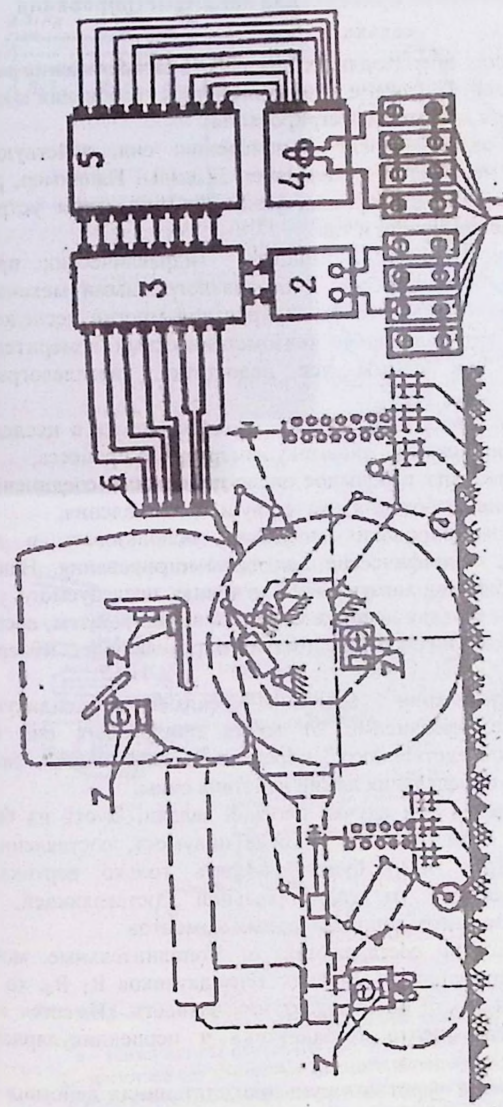


Рис. 4.8. Общая схема соединения датчиков с измерительной аппаратурой. 1—Аккумуляторы 6v, 2—Блок питания усилителя, 3—Усилитель — 8АНЧ-7М, 4—Осциллограф — Н-700, 5—Пульт управления, 6—Щиток для соединения акселерометров с усилителем, 7—Акселерометры.

4.3. Тензометрические приборы для динамометрирования сельхозмашин

Динамика процессов, происходящих при работе сельхозмашин все чаще интересует исследователей. В связи с этим повысились требования к качеству и возможностям приборов для динамометрирования.

Довольно много задач относят к измерению сил, действующих в сельхозмашинах, когда неизвестна линия действия силы. Например, реакция почвы, действующая на рабочие органы, усилия в прицепном устройстве, усилия в органах управления машин и т.д.

При динамометрировании с помощью гидравлических приборов наиболее приемлемыми были приборы с параллелограмными механизмами. При применении к данной задаче тензометрирования многие исследователи, механически заменяют гидравлические тензометрическими измерительными элементами, перенося тем самым все недостатки параллелограммных механизмов:

Большие габариты и вес, что затрудняет включение их в исследуемые узлы и может существенно исказить динамику измеряемого процесса;

Относительная сложность и большое число подвижных соединений, что предъявляет очень жесткие требования к качеству их изготовления.

Применение тензометрирования позволяет использовать в данных задачах другие методы, специфические для тензометрирования. Например, можно определить изгибающие моменты в 5 сечениях исследуемого узла не лежащих в одной плоскости (для пространственной задачи). Затем, составив 5 уравнений, найдем 5 компонентов, полностью определяющих измеряемую силу.

На основе определения величины силы, перпендикулярной измерительной оболочке, независимо от места приложения сил можно построить метод непосредственного определения проекций силы и сравнительного простого определения линии действия силы.

Рассмотрим этот метод для случая плоской задачи. Пусть на балочку действует произвольная сила (рис. 4.9.). Тогда полумост, составленный из тензодатчиков R_1 R_2 (рис. 4.9.) будет замерять только вертикальную составляющую и не зависит от горизонтальной составляющей, места приложения силы и приложенных дополнительных моментов.

Так как горизонтально составляющая и дополнительные моменты создают одинаковые деформации в сечениях тензодатчиков R_1 R_2 , то ток в измерительной диагонали моста не будет от них зависеть. (Имеется в виду сечение, проходящее через центр тензодатчика и перпендикулярная ось оболочки).

Для определения точки через которую проходит линия действия силы, (точку приложения силы для случая абсолютного твердого тела определить невозможно) требуется замерить еще один параметр, например, изгибающий момент в сечении тензодатчиков R_5 R_6 . Отношение этого изгибающего

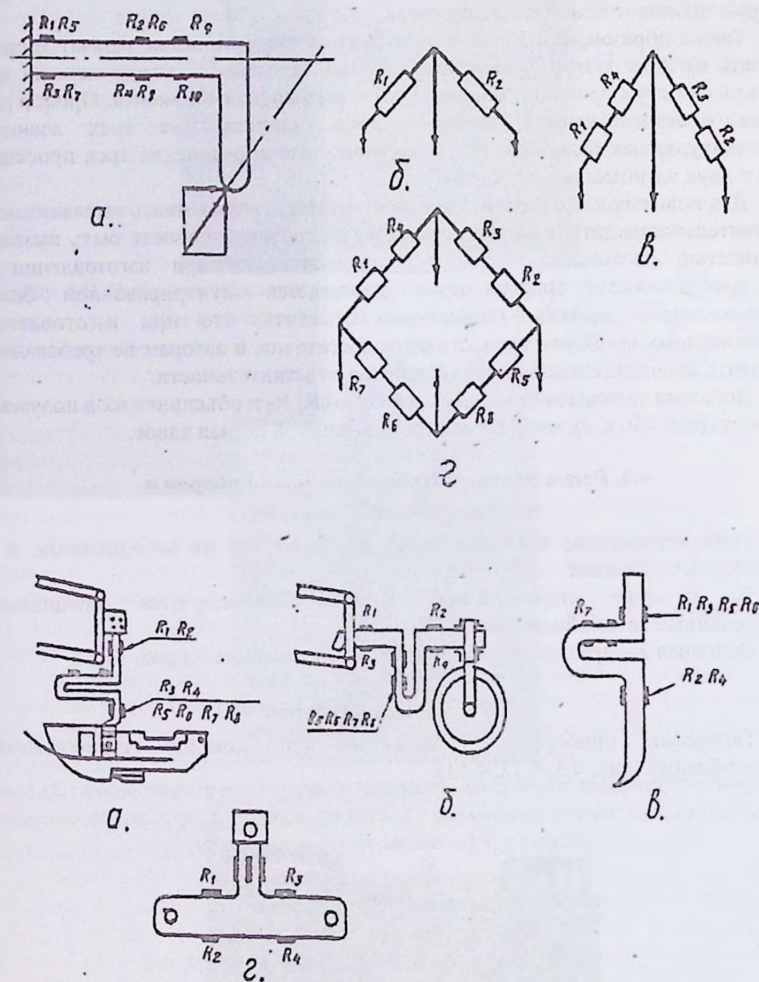


Рис. 4.9. Схемы наклейки тензодатчиков на тензоузлы для измерения сил и моментов рабочих органов сельхозмашин:

- а — тензоузел для измерения сил действующих на сошник хлопковой сеялки;
- б — тензоузел для измерения сил, действующих на уплотнительный каток сеялки;
- в — тензоузел для измерения сил действующих на рыхлительный рабочий узел;
- г — тензоузел для измерения сил действующих на тяговое звено прицепной рабочей машины.

момента к вертикальной составляющей даст расстояние до точки А, через которую проходит линия действия силы.

Таким образом, прибор для определения силы (плоская задача) должен состоять из двух взаимно перпендикулярных балочек с тензодатчиками для определения двух проекций силы и одного изгибающего момента. Прибор для случая пространственной задачи должен состоять из трех взаимно перпендикулярных балочек с тензодатчиками для определения трех проекций силы и двух изгибающих моментов.

Для повышения точности измерений можно рекомендовать выравнивание чувствительности датчиков. Различная чувствительность может быть вызвана неточностью изготовления балочек, погрешностями при изготовлении и наклеивке датчиков. Выравнивание достигается шунтированием более чувствительного датчика. Необходимо отметить, что при изготовлении нижеописанных приборов точность была достаточна, и авторам не требовалось проводить дополнительное выравнивание по чувствительности.

Добавляя тензодатчики R_3 , R_4 к датчикам R_1 , R_2 и объединяя их в полумост или мост (рис. 4.9. в, г), можно увеличить выходной сигнал вдвое.

4.4. Расположение измерительных приборов в тензометрической станции

Тензометрические приборы могут располагаться на передвижных, а в лабораторных условиях – стационарно.

В качестве передвижных средств используются специально оборудованные автомобили (рис. 4.10).

Основная аппаратура внутри тензостанции показана на рис. 4.11.

4.5. Тарировка приборов

Тарировка приборов производится при помощи тарировочных приспособлений (рис. 4.3, 4.12, 4.13).



Рис. 4.10. Измерение динамических параметров агрегата в полевых условиях тензостанцией на базе автомобиля ГАЗ-63.

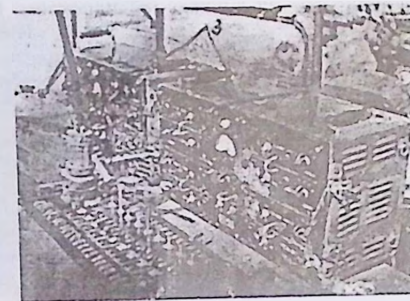


Рис. 4.11. Расположение аппаратуры внутри тензостанций: 1 – пульт управления; 2 – осциллограф Н-700; 3 – усилители 8АНЧ-7м.

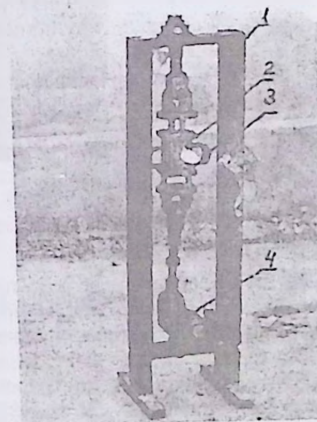


Рис. 4.12. Приспособление для тарировки тензозвудов, измеряющих деформацию с помощью силового динамометра. 1 – П-образная рама; 2 – специальное устройство для установки Динамометра; 3 – динамометр; 4 – тензозвуд.

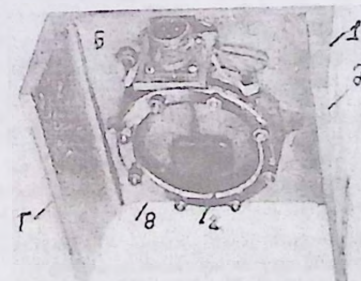


Рис. 4.13. Приспособление для тарировки акселерометров 1 – швелер, акселерометр

Акселерометр закрепляется на внутренней плоскости Б приспособления тремя винтами. Приспособление плоскостью В устанавливается на горизонтальной плите, выверенной по уровню. Приспособление поочередно устанавливается на плоскости В и на боковые плоскости Г и Д. Ординаты, соответствующие трем положениям тарировочного приспособления, записанные на осциллограмме, соответствуют ускорениям 0; $-9,81 \text{ м/с}^2$ и $-9,8 \text{ м/с}^2$.

По этим данным строится тарировочный график, образец которого представлен на рис. 4.14, где ординаты осциллограммы, соответствуют ускорениям 0; $9,81 \text{ м/с}^2$ и $-9,81 \text{ м/с}^2$. При тарировке таким методом погрешность находится в пределах 3-8 процентов.

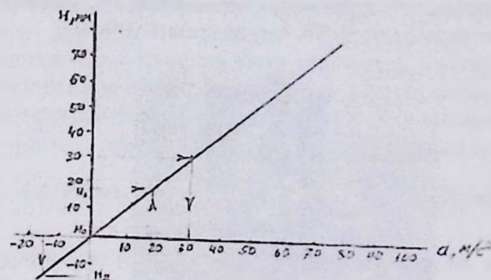


Рис. 4.14. Тарировочный график

Если экспериментатору нужна более высокая точность измерений, то прибор рекомендуется тарировать на вибростенде. Например, на тарировочной балке (рис. 4.3). Осциллографическую запись ускорений колебаний балки можно видеть на рис. 4.15.

Перед началом тарировки производят статическую тарировку балки путем поднятия конца ее на определенные высоты. Например, можно поднимать на 3 мм, затем на 6 мм и 9 мм. Производится статическая тарировка балки минимум в трехкратной повторности.

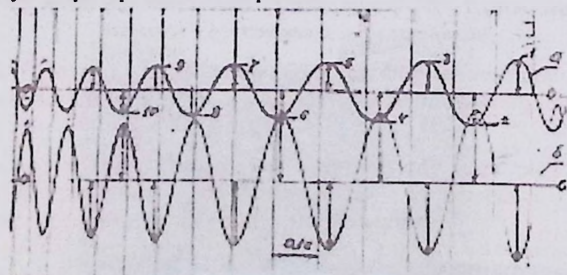


Рис. 4.15. Тарировочная осциллограмма акселерометра. А) кривая прогиба балки; В) кривая ускорений затухающих колебаний балки.

При этом, поднимая конец балки на определенные высоты, фиксируют отклонения луча шлейфа осциллографа. Осциллограмма статической тарировки балки показана на рис. 4.16.

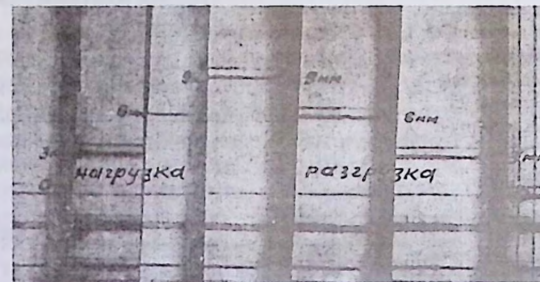


Рис. 4.16. Осциллограмма статической тарировки балки

Таким образом, каждый акселерометр с соответствующим каналом записи и определенном усилении должен подвергаться тарировке. Масштаб записи ускорений колебаний определяют по выражению:

$$K_a = \frac{4\pi^2 \cdot S_b}{T^2 \cdot H}, \text{ м/с}^2 \cdot \text{мм}$$

где S_b — прогиб балки;

H — амплитуда ускорения колебаний балки;

T — период колебаний балки.

Теоретическое ускорение колебаний определяют по известной формуле для гармонического колебания [105]:

$$A_1 = S_b \cdot \omega^2, \text{ м/с}^2,$$

где ω — угловая частота, равная $2\pi \cdot \nu = \frac{1}{T}$

Осциллограмма записи ускорений колебаний при работе хлопкоуборочной машины 17XB-1.8Б в полевых условиях представлена на рис. 4.17.

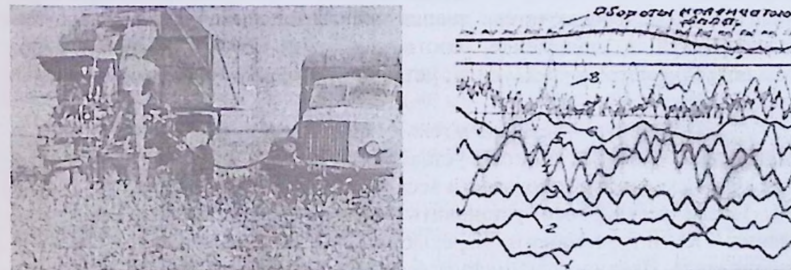


Рис. 4.17. 2П Запись динамических процессов МТА в полевых условиях. Экспериментальная хлопкоуборочная машина и тензостанция; Осциллограмма записи поперечных и вертикальных ускорений колебаний. 1 — вертикальные; 2 — поперечные колебания перестей опоры; 3 — вертикальные; 4 — поперечные колебания задней правой опоры; 5 — вертикальные; 6 — поперечные колебания задней левой опоры; 7 — вертикальные; 8 — поперечные колебания сиденья.

4.6. Подготовка усилителя к работе

Необходимо выполнить следующее:

1. Соединив усилитель с датчиками (рис. 4.18 б), включить и прогреть его в течение 20 мин. Установив переключатель миллиамперметра в положение «ю» (рис. 4.18 а), проверить напряжение питания по прибору усилителя.

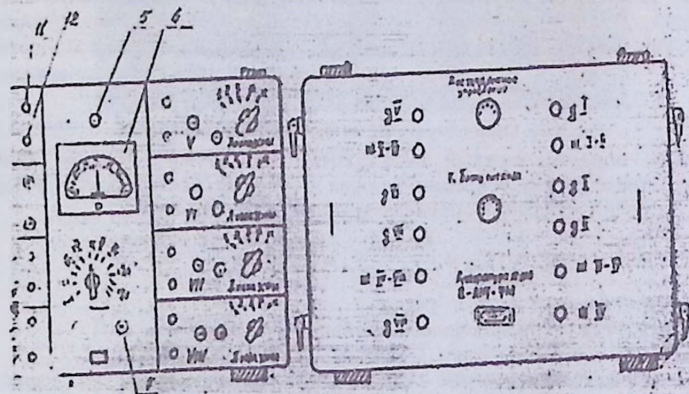


Рис. 4.18. б Панели усилителя 8АНЧ-7М

2. Поставить переключатель диапазонов в положение «О», переключатели выхода в положение «МА» и переключатель миллиамперметра в положение, соответствующее регулируемому каналу.

3. Потенциометром «рег. нуля» установить стрелку миллиамперметра на отметку «О».

4. Поставить переключатель диапазонов в положение «К» и включатель миллиамперметра в положение, соответствующее номеру регулируемого канала, потенциометром «рег. усил», установить стрелку миллиамперметра на отметку «30Ма».

5. Поставить переключатель диапазонов в положение «I» потенциометром «баланс моста» установить стрелку миллиамперметра на отметку «О». Регулировку произвести всех 8-ми каналов усилителя.

6. После регулировки установить переключатель миллиамперметра в положении «К» и . установить переключатели выхода на всех каналах в положение «шл». Включить осциллограф и провести наладку осциллографа.

Максимальное отклонение «зайчика» на экране осциллографа можно примерно определить для каждого канала, подавая на вход усилителя тарировочный сигнал переключателями диапазонов (положение «К», что соответствует деформации $0,5 \times 10^{-3}$ от единицы при одном активном датчике).

4.7. Краткая инструкция по эксплуатации портативного 14-канального осциллографа Н-700

1. Подготовка осциллографа к работе.

Поставить все выключатели в положение «выключено».

Поставить на место рамку с матовым стеклом.

Присоединить источник постоянного тока напряжением 27 вольт.

Включить общий выключатель и убедиться, что загорелись сигнальная лампа и лампа осветителя шлейфов гальванометров.

Установить требуемую скорость движения фотобумаги. Для переключения скорости необходимо оттянуть вверх ручку переключателя скоростей так, чтобы фиксатор вышел из отверстия, и повернуть её в нужное положение. При этом фиксатор обязательно должен вновь войти в отверстие.

Если рукоятка не поворачивается, необходимо рукоятку поставить на место, включить тумблер «кассеты», повернуть ручную выходную шестерню прибора, после чего проверить поворот рукоятки. Если рукоятка не поворачивается, то необходимо повторить операцию.

КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ производить переключение скорости при работе мотора, это может привести к поломке редуктора. Величина установленной скорости определяется по надписям. Цифры слева относятся к ускоренной кассете, цифры справа – к замедленной.

1.6. В зависимости от чувствительности фотобумаги и скорости записи установить по вольтметру накал лампы.

НАПРЯЖЕНИЕ, ПОДАВАЕМОЕ НА ОСВЕТИТЕЛЬ ГАЛЬВАНОМЕТРОВ, НЕ ДОЛЖНО ПРЕВЫШАТЬ 8 вольт

1.7. Протереть замшей или мягкой тряпочной линзы гальванометров. Проверить, все ли световые «зайчики» попадают на матовое стекло и экран для визуального наблюдения, их равномерное расположение и яркость. При необходимости – подрегулировать гальванометры специальным ключом, предварительно отпустив стопорные винты.

1.8. Установить, в зависимости от частоты регулируемого процесса, частоты отметчика.

1.9. Включить отметчик и проверить линию отметчика на матовом стекле. При скоростях записи меньше 40 мм пользоваться внешним отметчиком времени типа контактных часов, подключаемым к зажимам «конт. часы».

1.10. Включить на короткое время мотор и проверить работу редуктора и электромагнитной муфты.

1.11. Зарядить кассету. При зарядке следует открыть крышку, вынуть сматывающую катушку, отвести запорный рычажок и откинуть каретку ведущим валиком, заполнив катушку фотобумагой, следует поставить ее на место, закрепить конец бумаги на наматывающую катушку, опустить на место каретку с ведущим валиком и закрыть кассету.

ЗАРЯДКА КАСЕТЫ фотобумагой производится, в зависимости от сорта фотобумаги, либо в полной темноте, либо при красном свете.

1.12. Выключить общий выключатель, закрыть дверцы, снять рамку с матовым стеклом и поставить на ее место «кассету».

4.8. Работа на осциллографе

1. Подключить от датчиков или усилителей.
2. Выключить общий выключатель. Изменяя плавно скорость розетки, проверить на экране для визуального наблюдения общую картину регистрируемых процессоров.
3. Включить выключатель «кассета» и оставить его включенным на время в течение которого должна производиться запись. При нормальной перемотке обе ручки на кассете должны вращаться. МОТОР НЕЛЬЗЯ ОСТАВЛЯТЬ включенным свыше 45 минут, более длительная работа может привести к порче мотора.
4. После окончания работы, вращая ручку реостата, довести напряжение на осветителе до минимума и включить выключатель «кассета».
5. Выключить выключатель «отметчик».
6. Выключить выключатель «мотор».
7. Выключить общий выключатель.
8. Снять кассету и передать в фотолабораторию или самим проявить фотобумагу.
9. Отсоединить проводники от датчика.
10. Отсоединить кабель питания.
11. Установить осциллограф со всеми принадлежностями в укладочный ящик.

4.9. Юстировка осциллографа Н-700

В светолучевом осциллографе Н-700 могут быть следующие неполадки требующие юстировки.

1. Полоса освещения осветителя не направлена на гальванометры, в результате чего отсутствуют «зайчики» на матовом стекле.
2. Нить лампы осветителя не расположена вертикально, в результате чего уменьшается интенсивность «зайчиков» гальванометров на матовом стекле.
3. Отсутствует линия отметчика времени на матовом стекле или она расположена не на всю длину матового стекла. Это может произойти из-за следующего:
 - а) смещена нить лампочки относительно диафрагмы;
 - б) смещены диски один относительно другого;
 - в) неполное освещение экрана с матовым стеклом из-за смещения отражающих зеркал на кронштейне;
 - г) смещение линии отметки времени относительно середины матового стекла (более 2 мм).
4. Отсутствие изображения «зайчиков» гальванометров на зеркале визуального наблюдения или их плохое наблюдение отмечается при следующих неполадках:
 - а) отражающее зеркало визуального наблюдения повернуто под другим углом;
 - б) смещение линзы вдоль паза кронштейна визуального наблюдения.

4.10. Устранение неполадок юстировки

1. Для установки осветителя в требуемом положении необходимо отвинтить винт кронштейна крепления осветителя, освободить ось осветителя и повернуть его в такое положение, чтобы окошки всех гальванометров оказались посреди полосы освещения и выбранное положение зафиксировать винтом кронштейна осветителя. После установки осветителя спец. ключом установить все гальванометры в таком положении, чтобы все их «зайчики» были расположены на «матовом» стекле, согласно отметкам

2. Интенсивность «зайчиков» гальванометров регулируется ориентацией нити лампочки осветителя, которая должна быть расположена вертикально. Выходящая полоса света должна охватить все гальванометры, что достигается продольными перемещениями патрона в корпусе осветителя.

3. Установить щелевые риски дисков один относительно другого согласно требуемой частоте 10Гц или 200Гц.

4. Переместить патрон отметчика времени с лампочкой, нить которой должна быть параллельна щели диафрагмы и добиться, появления риска отметчика на матовом стекле.

5. Риски на матовом стекле, полученные выше или ниже средней линии, регулировать кронштейном. Для регулировки кронштейна нужно отвинтить винт отметчика и регулировать по высоте положения среднего луча на матовом стекле, после чего закрепить кронштейн.

6. Если после выполнения вышеуказанных пунктов 3, 4, 5 риски на матовом стекле будут расположены не на всю длину, то следует переместить зеркало отметчика так, чтобы добиться полной риски на всем экране.

7. Изображения «зайчиков» гальванометров на экране визуального наблюдения можно установить поворотом зеркала визуального наблюдения под таким углом, чтобы отраженные лучи пройдя через линзу, попадали на зеркальный барабан и отражаясь фокусировались на матовом экране визуального наблюдения. Луч разделяется зеркалом визуального наблюдения в отношении 1:2 (1 часть на визуальное наблюдение).

8. Если полученные «зайчики» на матовом стекле не являются точечными, то необходимо линзу переместить вдоль паза и, таким образом, добиться фокусировки лучей гальванометров на матовом стекле визуального наблюдения.

(Для юстировки гальванометров целесообразно применять бумажный экранчик 250х300 мм для контроля хода луча в осциллограф путем лучей экраном).

5. АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАШИН И ОЦЕНКА ИХ КОНСТРУКТИВНОГО СОВЕРШЕНСТВА. ОСНОВЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ МАШИН

5.1. Состав элементов машин. Годность машин и их элементов

Чтобы вскрыть закономерности, которые определяют объем и содержание технического обслуживания и ремонта машин необходимо знать, из каких элементов состоят машины.

Каждая машина состоит из конструктивных и неконструктивных элементов.

Годность машины, находящейся в сфере потребления, есть функция времени ее использования. Она зависит от состояния отдельных элементов машины. По абсолютному значению в большинстве случаев годность машины и отдельных элементов можно выражать через соответствующую стоимость. Годность машины расчленяется на части, каждая из которых выражает годность какого-либо конструктивного или неконструктивного элемента машины.

Следовательно, годность готовой машины равна сумме годности ее конструктивных и неконструктивных элементов [42, 49]:

$$E_n = \sum_1^k E_i + \sum_1^r G_j, \quad (5.1)$$

где ΣE_i — сумма годности всех конструктивных элементов;

ΣG_j — сумма годности всех неконструктивных элементов.

Такое разделение годности машины на две составляющие является важным не только для исследования и анализа состояний машин в период их потребления, но и при определении износа машины. Годность каждого конструктивного или неконструктивного элемента машины, находящейся в сфере потребления, есть функция времени в пределах ресурса или срока службы этого элемента. Соответственно E_{ix} или $G_{jx} = f_j(t)$.

Каждый новый конструктивный или неконструктивный элемент в начале срока службы в машине обладает максимальной годностью. Изношенный конструктивный или неконструктивный элемент по окончании срока службы в машине имеет годность, равную нулю.

Годность ремонтпригодного конструктивного или неконструктивного элемента можно возобновить полностью или частично, в зависимости от характера необходимых операций технического обслуживания и ремонта машин.

5.2. Структурные составляющие годности машин. Обоснование эффективности восстановления изношенных деталей машин

Непрерывный прогресс техники сопровождается и изменением структурных составляющих годности машины. Известно шесть категорий машин, различных по структурным составляющим их годности. Большинство

современных машин и оборудования относятся к V категории. В качестве примера на рис. 5.1 а и б, показаны — структурные составляющие годности машин I и V категорий и их изменения за период эксплуатации.

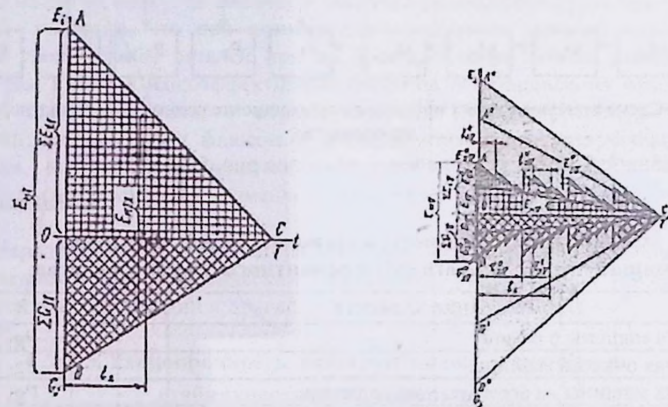


Рис. 5.1. Структурные составляющие годности машин I (а) и V (б) категорий и их изменения за период эксплуатации: а: E_n — обобщенная характеристика машины; ΣE_i — суммарная годность конструктивных элементов; ΣG_j — суммарная годность неконструктивных элементов; E_{ix} — годность машины в момент t_x контроля ее состояния; Т — оптимальный срок службы (ресурс) машины; б: E_{ix}^0 — исходная годность недолговечных конструктивных элементов, требующих замены при периодическом обслуживании; E_{ix}^t — годность повторно сменяемых элементов при техническом обслуживании; t_{ix}^t — ресурсы или срок службы недолговечных конструктивных элементов, сменяемых при техническом обслуживании.

Анализ структурных составляющих годности современных машин показывает, что они быстро изнашиваются и потребность в замене недолговечных конструктивных элементов, при проведении технического обслуживания и ремонта в пределах среднего ресурса или среднего срока их службы до списания, есть закономерный результат конструктивного и технологического выполнения исходных образцов этих машин.

За срок службы машины, определяемый долговечностью базовых деталей, значительное число деталей потребует замены или восстановления. В сельском хозяйстве в обеспечении сменными конструктивными элементами машин все большее значение приобретает восстановление изношенных деталей.

Чтобы показать значимость дальнейшего развития индустрии восстановления изношенных деталей, рассмотрим упрощенную схему технологических процессов машиностроительного (М) и ремонтного (Р) производства (рис. 5.2) [61].

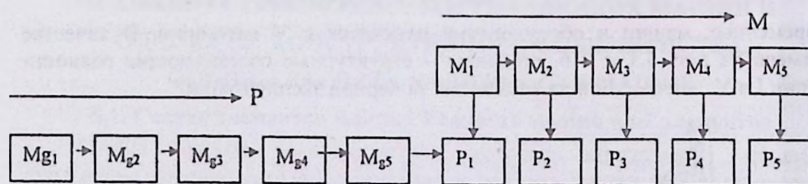


Рис. 5.2. Схема технологических процессов машиностроительного (М) и ремонтного (Р) производства.

В таблице 5.1 показано значение символов рис. 5.2.

Таблица 5.1.

Сопоставление элементов технологических процессов машиностроительного (М) и ремонтного (Р) производства

Наименование элемента	М	Р
Приёмка машины в ремонт	-	Pg ₁
Наружная очистка машины	-	Pg ₂
Разборка машины на агрегаты узлы и детали	-	Pg ₃
Очистка агрегатов узлов и деталей	-	Pg ₄
Дефектовка и комплектровка	-	Pg ₅
Изготовление (восстановление) деталей	M ₁	(P ₁)
Сборка узлов, агрегатов, машины	M ₂	P ₂
Обкатка и испытание	M ₃	P ₃
Окраска	M ₄	P ₄
Сдача изготовленной (отремонтированной) машины	M ₅	P ₅

При анализе представленной схемы (рис. 5.2) можно сделать следующие выводы:

а) технологический процесс капитального ремонта машин включает все элементы машиностроительного производства (M₁, M₂, M₃, M₄, M₅) и в дополнение к этому, имеют место специфические технологические операции P₁, P₂, P₃, P₄, P₅. В связи с этим трудоёмкость изготовления машины всегда будет меньше трудоёмкости капитального ремонта тех же объектов, так как в последнем случае сборки (P₂) предшествует их разборки с очисткой, дефектовкой и другими специфическими операциями. Отмеченная разница в трудоёмкостях изготовления и ремонта одноименных машин еще более усугубляется меньшим уровнем концентрации ремонтного производства по сравнению с машиностроением.

Если повнимательнее посмотреть на представленную схему и подумать над тем, что можно в сравниваемых технологических операциях найти такой элемент, который перекрывает все издержки капитального ремонта машин по сравнению с их производством;

б) единственным источником экономии при полнокомплектном или агрегатно-узловом ремонте машин, по сравнению с изготовлением тех же машин или агрегатов, является *восстановление изношенных*

деталей машин (P₁). Заготовка деталей для машиностроительных предприятий проходит все стадии производства, включая литье, ковку, штамповку. При восстановлении деталей в качестве заготовки выступает полностью сформированная изношенная деталь. В связи с этим отпадают затраты на литье, ковку, штамповку и частично на механическую обработку.

в) известно, что при незначительных затратах металла и денежных средств срок службы деталей при их восстановлении можно увеличить до шести раз. Среди высокоэффективных способов восстановления изношенных деталей следует назвать, в первую очередь, механизированные способы наплавки: наплавка под флюсом и в среде углекислого газа; вибродуговая наплавка, вибродуговая наплавка в аэрозольно-охлаждающей и защитной среде, электродуговое и плазменное напыление; электроконтактная наплавка [62]

Наряду с этим, получили распространение способы восстановления с применением электролитических покрытий, полимерных материалов, пластических деформаций и другие.

5.3. Равнопрочность конструктивных элементов и стабильность регулировок машин

Одной из важных для потребителей количественных оценок конструктивного и технологического совершенства каждой машины считается коэффициент равнопрочности и равноизносостойкости её конструктивных элементов. Коэффициент равнопрочности определяется по формуле [49]:

$$F_c = \frac{\sum E_i}{\sum n_i E_i} = \frac{\sum Q_i}{\sum n_i Q_i} \quad (5.2)$$

где n_i – количество замен соответствующих конструктивных элементов за средний ресурс машины до списания;

Q_i – стоимость соответствующего конструктивного элемента.

Повышение равнопрочности машин является одним из важнейших направлений исследований по совершенствованию машин.

Коэффициент стабильности регулировок машины характеризует необходимый объём работ при техническом обслуживании и ремонте, а также их повторности за средний ресурс. Он определяется по формуле:

$$F_{cp} = \frac{\sum G_i}{\sum n_i G_i} = \frac{\sum Q_i}{\sum n_i Q_i} \quad (5.3)$$

где G_i и Q_i – годность и стоимость исходных приравненных к ним возобновляемых деталей, при соответствующем техническом обслуживании и ремонте конструктивных элементов машины;

n_i – количество соответствующих технологических обслуживаний и ремонтов машины за весь срок службы.

5.4. Долговечность и ремонтпригодность машин

Если коэффициент равнопрочности учитывает неоднородность машины по ресурсам или срокам службы всех ее конструктивных элементов, коэффициент стабильности регулировок – неоднородность машины по ресурсам или срокам службы всех ее конструктивных элементов, то коэффициент долговечности машин (коэффициент равноресурсности элементов машины) даёт общую оценку конструктивного и технологического совершенства машины в отношении ресурсов или сроков службы, а также отражает в соответствующей доле объем и повторность смены недолговечных конструктивных элементов.

Коэффициент долговечности определяют по формуле [49]:

$$F_k = \frac{E_m}{\sum n_i E_i + \sum n_j G_j}, \quad (5.4)$$

или, применяя стоимостные соотношения,

$$F_k = \frac{Q_m}{\sum n_i Q_i + \sum n_j Q_j}, \quad (5.5)$$

где E_m и Q_m – соответственно годность и стоимость машины;

$\sum E_i$ и $\sum Q_i$ – соответственно годность и стоимость конструктивных элементов машины;

$\sum G_j$ и $\sum Q_j$ – соответственно годность и стоимость неконструктивных элементов машины;

n_i – повторность смены конструктивных элементов машины;

n_j – повторность возобновления неконструктивных элементов машины.

Чтобы собрать трактор или другую машину при замене части изношенных недолговечных деталей, надо выполнять не только операции, которые на машиностроительном предприятии выполняют при сборке нового образца, но и необходимо, хотя бы частично, предварительно разобрать этот трактор или машину, промыть детали, произвести другие подготовительные работы, затем установить новую деталь вместо изношенной.

Часть годности машины, внесенная при её ремонте и относящаяся к сборке и регулировке, не может быть больше исходной годности, относящейся, соответственно к тому же объему сборки машины на машиностроительном предприятии. Чтобы возобновить эту часть годности необходимо дополнительно выполнить некоторый объем *балластных* работ, относящихся к разборке, мойке и другим процессам подготовки машин к ремонту. Имеются машины, которые не приспособлены к проведению технического обслуживания и ремонта, которых они требуют. В этом случае высокая технологичность конструкции узлов по оценке машиностроителей обращается в низкую оценку ремонтпригодности того же узла со стороны потребителей машины. Это свойство машин оценивают показателем ремонтпригодности.

Коэффициент ремонтпригодности машины оценивают по формуле:

$$F_p = \frac{\sum G_{кр}}{\sum G_{кр} + \sum g_j \sigma_{кр}}, \quad (5.6)$$

$$\text{или} \quad F_p = \frac{\sum Q_{кр}}{\sum Q_{кр} + \sum q_j \sigma_{кр}}, \quad (5.7)$$

где $g_j \sigma_{кр}$ и $q_j \sigma_{кр}$ – средние значения годности и стоимости, соответствующие объему балластных работ при техническом обслуживании, ремонте машины или замене её недолговечных конструктивных элементов за определенный цикл обслуживания машины.

Самой совершенной по конструктивной отработке следует считать машину, у которой наиболее высокий коэффициент ремонтпригодности (приближающийся к единице).

Поэтому весьма важна в процессе исследований оценка коэффициентов F_c , $F_{кр}$, F_g , F_p для семейства новых систем машины, выпускаемых промышленностью нашей республики.

5.5. Анализ годности конструктивных элементов. Отличие ремонтпригодности конструктивных элементов от неремонтпригодных

По изменению годности конструктивные элементы разделяются на четыре группы:

- несменяемые и неремонтпригодные конструктивные элементы;
- сменяемые неремонтпригодные конструктивные элементы;
- несменяемые ремонтпригодные конструктивные элементы;
- сменяемые ремонтпригодные конструктивные элементы.

Первая группа – это конструктивные элементы или целые узлы, которые выбывают из процесса потребления машины только вместе с ней.

Вторая группа – конструктивные элементы, которые по техническим условиям становятся негодными раньше, чем наступает установленный срок службы всей машины. У них сроки замены элементов, как и периодичность ремонта машины, могут постепенно сокращаться по мере старения машины.

Третья группа – включает ремонтпригодные конструктивные элементы, которые не сразу выбраковывают, когда они становятся неработоспособными, а сначала ремонтируют и повторно вводят в машину для восстановления ее работоспособности.

Сложные конструктивные элементы машин (например, корпусные детали) обладают несколькими признаками нарушения их годности и разными периодами их возобновления. При анализе изменения их годности необходимо эти элементы рассматривать как самостоятельные сложные объекты.

Внешне ремонтпригодный конструктивный элемент отличается от неремонтпригодного (при их одинаковой годности) только ресурсом или сроком службы. Это отличие имеет важное значение.

Исходная годность ремонтпригодного конструктивного элемента (рис. 5.3.) делится на две части: пассивную E_{ip} , активную E_{ia} , относящуюся к обработке конструктивного элемента, обеспечивающую его работоспособность до ремонта. Активную годность конструктивного элемента в процессе его потребления необходимо периодически возобновлять, так как к моменту ремонта элемента оказывается, что $E_{ia} = 0$.

Следовательно, для ремонтпригодного конструктивного элемента:

$$E_i = E_{ip}^1 = E_{ia}^1. \quad (5.8)$$

Годность элемента после ремонта оказывается равной:

$$E_{ip}^1 + e_i^1.$$

При дальнейшем использовании машины эта активная годность так же, как и исходная, постепенно теряется, пока не наступит новый срок ремонта конструктивного элемента или его замены. Пассивная годность ремонтпригодного конструктивного элемента сохраняет положительное значение до последнего ремонта элемента, после чего такой элемент служит в машине уже как неремонтпригодный. На рис. 5.3 показан график изменения годности ремонтпригодного конструктивного элемента.

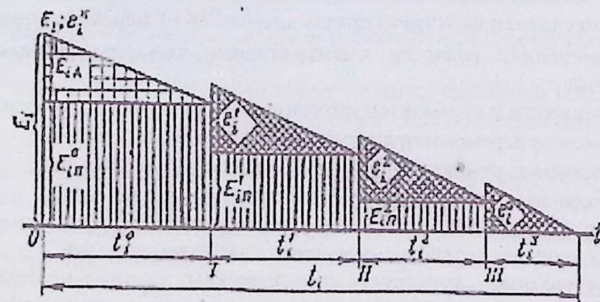


Рис. 5.3. График изменения годности ремонтпригодного конструктивного элемента машины (при трехкратном его ремонте и в случае снижения межремонтного периода по мере старения): E_{ip}^0 — исходная пассивная годность ремонтпригодного конструктивного элемента; E_{ia}^0 и E_{ia}^1 — остаточная пассивная годность ремонтпригодного конструктивного элемента, соответственно после 1-го и 2-го ремонтов; E_i — исходная активная годность ремонтпригодного конструктивного элемента; e_i^1 , e_i^2 и e_i^3 — возобновленная (1, 2 и 3 раз) активная годность ремонтпригодного конструктивного элемента t_i^0 , t_i^1 , t_i^2 и t_i^3 — ресурсы или сроки службы ремонтпригодного конструктивного элемента до ремонта (t_i^0) и после 1, 2 и 3-го ремонтов (межремонтные периоды).

Ремонтпригодность конструктивного элемента должна быть легко доступна для реализации в условиях ремонтных предприятий. Поэтому при создании машин, когда определяют конструктивные формы и размеры деталей,

их ремонтпригодность необходимо тщательно рассчитывать и контролировать.

Может быть и такой случай, когда ресурс или срок службы отремонтированного элемента будет больше ресурса или срока службы исходных образцов. Так, например, отремонтированная плунжерная пара после хромирования плунжера служит в 2 раза дольше, чем новая нехромированная.

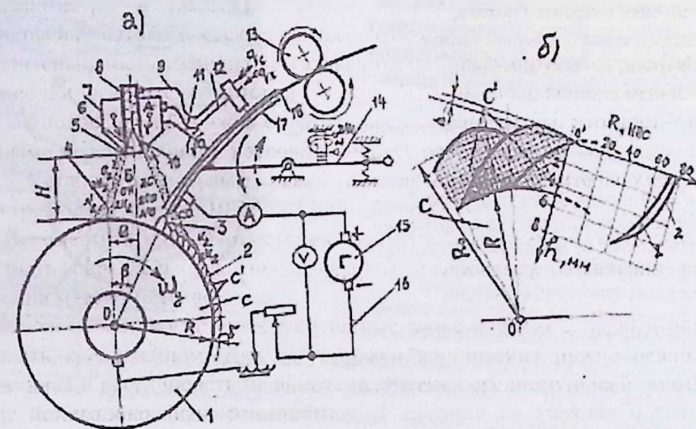


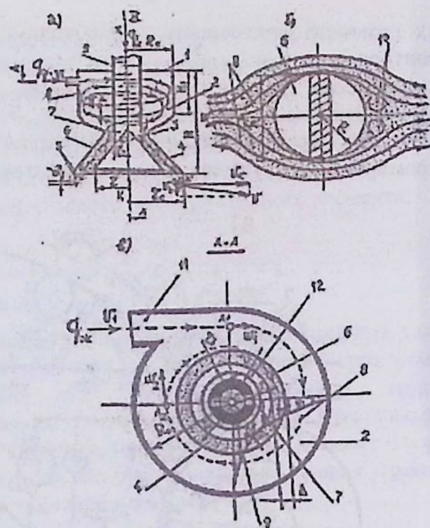
Рис. 5.4. Схема установки для электровибродуговой наплавки в аэрозольно-охлаждающей и защитной среде (а); 1 — восстанавливаемая деталь; 2 — наплавленный металл; 3 — электрическая дуга; 4 — аэрозольный факел; 5 — сопло; 6 — расширитель потока; 7 — аэровихревой кавитатор; 8 — центральная трубка; 9, 12 — трубки для подвода рабочей жидкости и газа; 10 — боковой капиллярный канал; 11 — кронштейн шарнирный; 13 — механизм подачи; 14 — вибратор; 15 — генератор; 16 — электрическая цепь; 17 — мундштук; 18 — электродная проволока; б — графики изменения микротвердости наплавленного металла при подводе рабочей жидкости в виде тонкой струи (1) и мелкодисперсных капель (2).

Кавиационный способ подвода аэрозольно-охлаждающей жидкости (рис. 5.4.) в зону наплавки позволило сократить коэффициент потери от разбрызгивания жидкого металла электродной проволоки до 0,22 единиц, тогда как при существующем способе наплавки эти потери составляли до 0,45 единиц [62]. При этом твердость наплавленного слоя повышается, как это видно из рис. 5.4, б [73].

На рис. 5.5 показан принцип действия аэровихревого кавитатора [62]. Для интенсификации процесса дробления рабочей жидкости нами был использован эффект вентилируемой каверны [77] создаваемый за

Рис. 5.5. Принцип действия азровихревого кавиатора:

- 1—корпус; 2—камера завихрения;
- 3—расширитель потока; 4—сопло;
- 5—мелкодисперсные капли; 6—исходная основная капля;
- 7—боковые капиллярные каналы;
- 8—токи вихревого потока;
- 9—центральная перфорированная трубка; 10—зона кавиации;
- 11—тангенциальный канал;
- 12—дефлектор турбулизатор;
- 13—кривая изменения скорости вихревого потока; а) конструктивное исполнение кавиатора; б) основная капля в структуре вихревого потока; в) этора скорости циркулируемого потока вокруг дефлектора — турбулизатора.



дефлектором — турбулизатором.

Сама конструкция, работающая на основе этого эффекта нами была названа кавиатором (принятый из начальных трех букв слова «каверна»). Кавиатор состоит из корпуса 1, центральной перфорированной трубки 9 с расширителем потока 3. Центральная перфорированная трубка 9 в нижней части имеет сквозные боковые капиллярные каналы 7, а снаружи снабжен пакетом спиралевидных дефлекторов — турбулизаторов 12 для интенсификации процесса дробления рабочей жидкости.

Формируемые в зоне боковых капиллярных каналов 7 исходные одиночные капли 6, в процессе взаимодействия со структурой мощного вихревого потока дополнительно диспергируются до мелкодисперсных капель и транспортируются до поверхности обрабатываемого объекта. Дальнейшие исследования ведутся в направлении получения более высокодисперсных капель. Кавиационный способ диспергирования химико-биологических сред может быть использован не только в растениеводстве, животноводстве и в технологических процессах для восстановления изношенных деталей машин, но и в промышленной энергетике. Для получения высокодисперсных капель на коротком факеле распыливания доцентом Аширбековым И.А. рекомендована «газофикация» подводимой рабочей жидкости еще до выхода её из сопла кавиаторов.

Упрочняющее действие на конструктивные элементы при отдельных методах ремонта приобретает качественно новое отличие: ремонт конструктивного элемента в этом случае одновременно является и его модернизацией. В среднем пассивная годность (как и остаточная стоимость) ремонтнопригодных конструктивных элементов, в случае однократного или

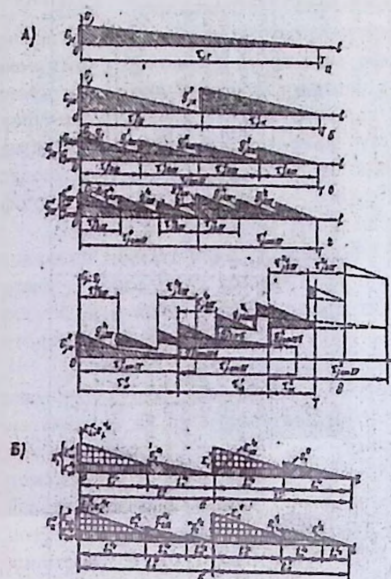


Рис. 5.6. Изменение годности неконструктивных (А) и конструктивных (Б) элементов: а — невозобновляемого; б — полностью возобновляемого; в, г — частично и полностью возобновляемого; д — частично и полностью возобновляемого при наличии балластных работ возобновления неконструктивного элемента и нескратности сроков возобновления; В: c_1^{01}, c_1^{02} — возобновленная активная годность исходного ремонтнопригодного конструктивного элемента после его 1-го и 2-го ремонтов; $c_1^{01/1}, c_1^{01/2}$ — возобновленная активная годность первый раз замененного ремонтнопригодного конструктивного элемента после 1-го и 2-го ремонтов; $t_1^{00}, t_1^{01}, t_2^{00}, t_2^{01}, t_1^{02}, t_2^{02}$ — ресурсы или сроки службы замененных ремонтнопригодных конструктивных элементов после их замены и ремонтов.

двукратного ремонта детали, равна 30-40% годности новой детали, а если деталь допускает четырех и

пятикратную повторность ремонта, пассивная годность (как и остаточная стоимость) оказывается выше и составляет 65-80%. Методы восстановления изношенных деталей машин наплавкой или напылением позволяют добиться многократного их восстановления. Поиск методов восстановления утраченной годности изношенных деталей машин открывает перед исследователями все новых перспективных научных направлений. Примером этого является разработка нового устройства для плазменно-дуговой наплавки изношенных деталей машин.

5.6. Изменение годности неконструктивных элементов машин. Выравнивание интенсивности снижения годности ремонтнопригодных конструктивных элементов корректировкой их остаточной пассивной годности

Изменения годности неконструктивных элементов машин различны и сходны с изменениями годности конструктивных элементов. На рис. 5.6 показаны изменения годности неконструктивных (А) и конструктивных (Б) элементов. В табл. 5.2 приведены оценочные параметры конструктивных элементов различных групп машин.

Оценочные параметры конструктивных элементов

Группа	Коэффициент рамонро-	Коэффициент стабильности	Коэффициент долговечности	Коэффициент ремонтопригодности	Действительная удельная годность
Несменяемый ремонтно-пригодный элемент	1	1	1	1	Стоимость элемента, деленная на средний ресурс или средний срок службы до списания машины: $\frac{Q_i}{T}$ (здесь $T = t_i$)
Сменяемый ремонтно-пригодный элемент	$\frac{1}{n_i}$	1	$\frac{1}{n_i}$	1	Стоимость всех сменяемых элементов данного назначения, используемых за средний срок службы машины до списания, деленная на этот же ресурс или срок службы машины $n_i \frac{Q_i}{T}$
Несменяемый ремонтнопригодный элемент	1	$\frac{1}{m_i}$	Стоимость элемента, деленная на эту же стоимость вместе со стоимостью всех его ремонтов: $\frac{Q_i}{Q_i + \sum q_i^k}$	Стоимость элемента и всех его ремонтов без стоимости балластных работ, деленная на стоимость элемента и всех его ремонтов, включая стоимость балластных работ: $(Q_i + \sum q_i^k) / (Q_i + \sum q_i^k)$	Стоимость элемента и всех его ремонтов, включая стоимость балластных работ, деленная на средний срок службы машины до списания: $\frac{Q_i + \sum q_i^k}{T}$
Сменяемый ремонтнопригодный элемент	$\frac{1}{n_i}$	$\frac{1}{n_i m_i}$	Стоимость элемента, деленная на суммарную стоимость всех сменяемых элементов вместе со стоимостью всех ремонтов: $\frac{Q_i}{Q_i + \sum q_i^k}$	Стоимость всех сменяемых элементов и всех их ремонтов без стоимости балластных работ, деленная на стоимость тех же элементов и всех их ремонтов, включая стоимость всех соответствующих балластных работ: $\frac{n_i Q_i + \sum_{k=1}^{m_i} n_i q_i^k}{n_i Q_i + \sum_{k=1}^{m_i} n_i q_i^k + \sum_{k=1}^{m_i} n_i q_{i,k}^k}$	Стоимость всех суммарных элементов и всех их ремонтов, включая стоимость всех соответствующих балластных работ, деленная на средний срок службы машины до списания: $\frac{n_i Q_i + \sum_{k=1}^{m_i} n_i q_i^k + \sum_{k=1}^{m_i} n_i q_{i,k}^k}{T}$ где m_i – число балластных работ

Для правильного определения значения пассивной годности ремонтнопригодного конструктивного элемента, в случае его многократного ремонта, необходимо по этапам ремонта установить остаточную стоимость ремонтнопригодных конструктивных элементов и по установленной дифференциальных преискуранных цен на ремонт машин, агрегатов, узлов и деталей, по мере их старения, установить закупочные цены на машины, агрегаты, узлы и детали, подлежащие ремонту (так называемый ремонтный фонд).

На вспомогательном графике (рис. 5.7) для выявления приближенного значения остаточной пассивной годности (или остаточной стоимости) ремонтнопригодного конструктивного элемента по оси абсцисс откладывают ресурс или срок службы элемента, а по оси ординат – его годность (или стоимость).

Значение исходной годности ремонтнопригодного конструктивного элемента устанавливают на основании данных затрат труда, энергии, материалов на производство этого элемента (в стоимостном выражении – по преискуранной цене). Чтобы разделить исходную годность ремонтнопригодного конструктивного элемента на активную и пассивную, необходимо сначала определить часть затрат, относящуюся к его поверхностной обработке (без затрат на всю исходную заготовку конструктивного элемента), а затем выявить значение остаточной пассивной годности, соответствующее моменту ремонта элемента. По многим ремонтнопригодным элементам машин часть затрат, относящаяся к поверхности их обработке, составляет 10-18% от всех затрат на производство такого элемента.

В соответствии с этим на оси ординат откладывают и ставят точку a , вверху от которой находятся 10-15% годности E_i . Чтобы построить график, необходимы данные о средних ресурсах или средних сроках службы этого элемента до списания. По наблюдениям устанавливают средний ресурс или средний срок службы t_i ремонтнопригодного конструктивного элемента до ремонта. Точно также можно установить средние ресурсы или средние сроки службы элемента после ремонта и до выбраковки, а при многократном ремонте – средние ресурсы или средние сроки службы после каждого повторного ремонта, вплоть до его списания или выбраковки по истечении ресурса или срока t_i . В соответствии с этими данными на оси абсцисс ставят точку K , которая отмечает средний ресурс или средний срок службы элемента до его выбраковки.

Прямая линия, соединяющая точку a с точкой k является геометрическим местом точек, определяющим остаточную пассивную годность (или остаточную стоимость) ремонтнопригодного элемента. Чтобы зафиксировать эту остаточную годность, надо в сроки эксплуатации элемента провести вертикальные линии (рис. 5.7, а) при однократном ремонте элемента или I – I и II – II (рис. 5.7, б) при двукратном ремонте, точки пересечения которых с прямой (а – к) выявят соответствующее значение

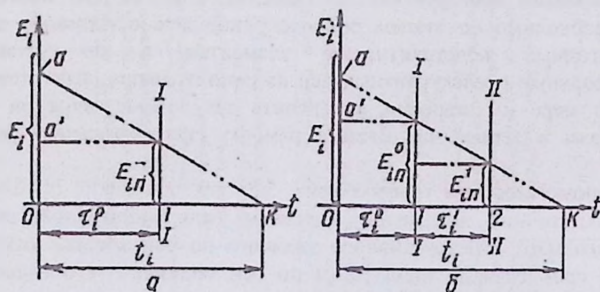


Рис. 5.7. Вспомогательный график для выявления значения остаточной пассивной годности ремонтпригодных конструктивных элементов: а – для случая, когда элемент ремонтируемый один раз; б – для случая, когда элемент ремонтируемый два раза (обозначения те же, что и на рис. 5.3).

остаточной пассивной годности $E_{i\pi}^*$. Отрезок ординаты $a - a'$ соответствует годности исходной заготовки, которая при изготовлении ремонтпригодной детали включается в активную годности исходного образца этого элемента $E_{i\pi}$, присоединяясь к затратам на его обработку.

Потребителя интересуют затраты на ремонт конструктивного элемента, которые бы учитывали его остаточную годности и обеспечивали одинаковую интенсивность снижения годности элемента как до ремонта, так и после.

Для этого отложим на оси абсцисс в определенном масштабе ресурсы или сроки службы ремонтпригодного конструктивного элемента до и после ремонта. Полагая, что, рассматриваемый конструктивный элемент ремонтируют один раз, проводим вертикальную линию 1 – 1 (рис. 5.7, а) Затем отложим на оси ординат значение годности E_i нового конструктивного элемента (или в соответствующем масштабе стоимость Q_i) отделяющую затраты на исходную заготовку конструктивного элемента от затрат на его исходную обработку, которая оказывается недолговечной и возобновляется. Для многих деталей соотношения этих частей ординаты E_i принимают как 0,85-0,90 для заготовки и 0,10-0,15 для её обработки.

Соединим точки 1 и 2 на оси абсцисс соответственно с точками 1 и а на оси ординат, прямыми линиями. Линия 1 – 1 характеризует возможную интенсивность снижения годности, если бы конструктивный элемент не ремонтировали, а после износа выбрасывали, не считаясь с его ремонтпригодностью. Угол наклона этой линии (пунктирной) характеризует предел возможной интенсивности снижения годности конструктивного элемента после ремонта. Поэтому, если из точки 2 на оси абсцисс провести линию 2 – 2 параллельную линии 1 – 1, то точка 2 и пересечения с вертикалью определяют предел затрат на ремонт элемента вместе с соответствующей оплатой его заготовки, то есть предел затрат когда все еще выгодно ремонтировать этот элемент, чем заменять его новым. Из построения

вспомогательного графика (см. рис. 5.7) ясно, что точка 3 (рис. 5.7) пересечения линий (2-а) с вертикалью 1 – 1 определит значение пассивной годности конструктивного элемента, благодаря которой он оказывается ремонтпригодным. Рентабельность ремонта конструктивных элементов находят из значения отрезка 3-2. Если в стоимостном выражении затраты на ремонт, укладываются в этом отрезке ординаты, то ремонт конструктивного элемента рентабелен, если нет – нерентабелен.

Чтобы узнать, будет ли одинаковой интенсивность снижения годности (или снижения стоимости) конструктивного элемента до и после ремонта, необходимо из точки 2 на оси абсцисс провести линию 2-4, параллельную линии 3-1. Точка 5 пересечения этой линии с вертикалью покажет размер затрат на ремонт определяемой ординатой 3-5. Эти затраты e_i' на ремонт конструктивного элемента следует считать оптимальными. Проводя из точки 3 линию 3-3, параллельную оси абсцисс до пересечения с осью ординат, и, соединив точки 1-3 и 5-2, получим изменения ремонтпригодности конструктивного элемента при однократном ремонте и при ресурсе (сроке службы) после ремонта, равном ресурсу (сроку службы) до ремонта. Если затраты на ремонт конструктивного элемента больше оптимальных, и не выходят за пределы допустимых, то интенсивность снижения исходной годности конструктивного элемента до и после ремонта будут различными (рис. 5.8д и б).

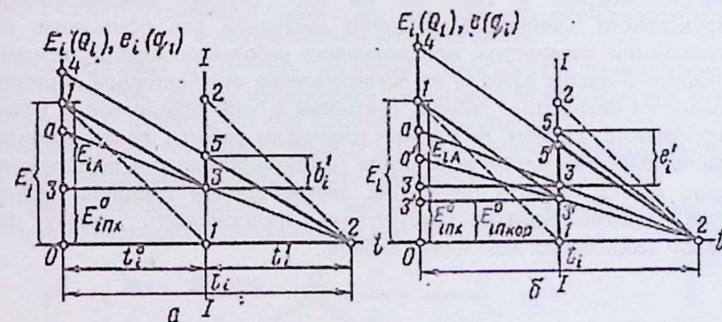


Рис. 5.8. Выравнивание интенсивности снижения активной годности ремонтпригодного конструктивного элемента за ресурс или срок его службы до списания: а – для случая оптимальных затрат e_i' на ремонт; б – для случая требуемого выравнивания при $t_i^1 = t_i^0$.

Выравнивание интенсивности снижения годности конструктивного элемента на весь период его использования за счет корректировок пассивности годности, можно расчетным и графическим методами. При расчетном методе суммируют затраты на ремонт с затратами на производство элемента и делят на средний ресурс или средний срок его службы. Графический метод состоит в следующем: на графике (рис. 5.8б) к ординате 0-1 прибавляют отрезок 1-4, равный отрезку ординаты 3-5, или отрезок, выражающий установленные

средние фактические затраты на ремонт, не выходящие за допустимый предел 3-2, и точку 4 соединяют с точкой 2 прямой линией.

Отмечая точку 5¹ на линии 2-4 и, проводя линию 1-3¹, параллельную линии 2-5¹, заканчиваем построение графика выравнивания интенсивности снижения годности конструктивного элемента до и после ремонта, а также корректировку значения пассивной годности этого элемента (по линии 3¹-3). Точкой а¹ на графике отмечает корректировку разделения исходной годности или исходной стоимости конструктивного элемента на годности или стоимость заготовки, а также годности или стоимость ее обработки. Эта корректировка показывает, что если конструктивный элемент, неудачно сконструирован и изготовлен, и при его восстановлении требуются больше затраты на возобновление обработки, то доля пассивной годности такого элемента соответственно снижается. Если затраты на ремонт малы, а ресурс или срок службы после ремонта больше, чем до ремонта, пассивная годности конструктивного элемента может не снижаться при выравнивании интенсивности снижения его годности.

Из анализа методов выравнивания интенсивности снижения годности ремонтнопригодных конструктивных элементов и корректировки значения остаточный пассивной годности, вытекает одно из важнейших требований к конструктивному оформлению машин и их ремонтнопригодных элементов. Требование состоит в том, что во всех случаях ремонтнопригодность конструктивного элемента была легко доступной для реализации, и при восстановлении параметров, определяющих работоспособность элемента, не требовались большие затраты на осуществление его повторной обработки и, тем более на балластные работы, связанные с этой обработкой, а исходный конструктивный элемент достаточно длительно работал после ремонта или восстановления. Примером повышения ремонтнопригодности конструктивного элемента может служить разработка дискообразного съёмника хлопка с гибкими исполнительными элементами позволяющего замену только предельно изношенных эластичных зубцов.

5.7. Структура технического сервиса, фирменного ремонта, лизинга и маркетинга в агропромышленном комплексе

За последние годы в агропромышленном комплексе создана надежная ремонтно-сервисная база, обеспечивающая качественное техническое обслуживание и ремонт изношенных деталей машин.

Современная структура технического сервиса и ремонта сельскохозяйственных машин представлена на рис. 5.9.

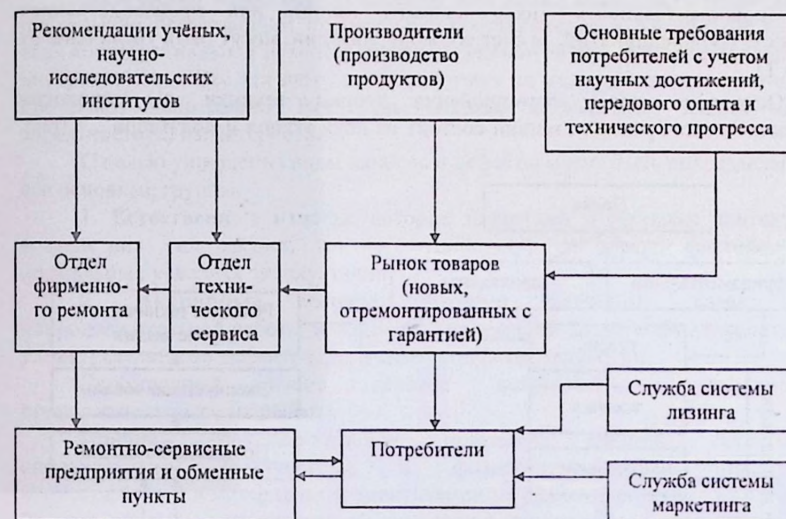


Рис. 5.9. Структура технического сервиса, фирменного ремонта, лизинга и маркетинга в агропромышленном комплексе [80-85].

Она призвана обеспечить высокую надежность отремонтированных машин и агрегатов. Однако, практически невозможно создать машины, которые бы работали у потребителя без отказов и ремонта за весь период (Т) их эксплуатации. Для устранения отказов и поддержания их работоспособности приходится затрачивать дополнительные материальные ресурсы.

Цикл «жизни» машин или любого производственного процесса с несколькими периодами, показанных на рис. 5.10 [83].

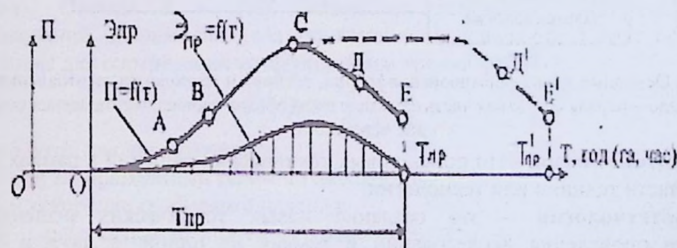


Рис. 5.10. Цикл «жизни» машин, ОА – период проектирования; АВ – период освоения и наращивания темпов производства машин; ВС – период стабилизации производства; CD – период спада мощности производства; ДЕ – период остановки производства; Т_{пр} – предельный ресурс производства или машины (узла, агрегата, детали).

Продолжительность цикла «жизни» машин или производственная мощность (N) предприятий, за счет его модернизации, могут быть увеличены от $T_{пр}$ до $T_{кр}$.

Основные этапы формирования теории техники и технологии изготовления или ремонта машин состоит из двух этапов и подэтапов (рис. 5.11).



Рис. 5.11. Основные этапы формирования теории, техники и технологии изготовления или ремонта (эндо – первая составная часть сложных слов, обозначающая: находящейся снаружи, вне чего-либо).

Эндотехнология – это поиск новых технических решений в рамках лишь одной области техники или технологии.

Экзотехнология – это создание новых технических решений, в результате проведения исследований в рамках не одной, а двух и более смежных областях техники или технологии.

В республике успешно функционируют районные альтернативные и машинно-тракторные парки фермерских и других объединений. Налаживание патентно-лицензионной работы в ремонтно-производственных предприятиях является мощным средством для интенсификации процессов в агропромышленном комплексе.

5.8. Закономерности изнашивания элементов машин

Физический износ всякой машины при эксплуатации есть объективный непрерывно протекающий процесс. Его составляющие – физические износы всех конструктивных и неконструктивных элементов под действием внешних и внутренних сил. Все эти нагрузки воздействия на машину по мере ее старения протекают непрерывно. Все виды отказов и величины износа имеют вероятностную характеристику.

С целью упрощения виды износов и дефекты могут быть подразделены на все основные группы:

1. **Естественные износы**, которые нарастают в процессе длительного воздействия сил трения, высоких температур и других факторов при нормальных условиях эксплуатации.

2. **Аварийные износы**, которые возникают даже после непродолжительной работы механизма, что является следствием неправильного ухода, результатом дефектов, допущенных при изготовлении.

Естественный износ деталей возрастает с увеличением продолжительности их работы.

Причины, обуславливающие появление отказов, связаны с определенными физическими и физико-химическими процессами, происходящими в материалах и конструкции на различных этапах их «жизни». Отказы, влияющие на надежность сельскохозяйственной техники, могут быть постепенные и внезапные. Наиболее распространенный вид неисправностей деталей (сопряжения) – износ. Он появляется в результате изнашивания, отслоения или остаточной деформации материала, детали. Статистические данные свидетельствуют о том, что более 80% деталей машин выходит из строя в результате износа.

Изнашивание – это процесс постепенного изменения размеров тела при трении. Оно может сопровождаться и коррозией.

По закону Амонтона сила трения F пропорциональна весу груза G и не зависит от величины площадей касания, то есть $F = fG$ (f – коэффициент трения). Отсюда $F = f/G$. Эйлер на основании экспериментальных исследований скольжения тела по наклонной плоскости вывел следующее уравнение для определения коэффициентов трения [47, 77]:

$$f = \operatorname{tg} \alpha - \frac{2\ell}{gt^2 \cos \alpha}, \quad (5.9)$$

где α – угол наклона плоскости;

ℓ – путь, пройденный телом по плоскости;

g – ускорение свободного падения;

t – время перемещения тела на расстояние ℓ .

Зависимость в трущихся парах по Кулону выражается как:

$$F_c = A + fN; F_k = KN/R_k, \quad (5.10)$$

где F_c и F_k – соответственно силы трения при скольжении и качении;

A – величина учитывающая сопротивление при трении поверхностей;

f – коэффициент трения скольжения;

K — коэффициент трения качения;

R_k — радиус катка.

Естественный износ деталей возрастает с увеличением продолжительности их работы. При этом, следует иметь в виду, что на интенсивность изнашивания влияет одна из важнейших характеристик — твердость металла или сплава из которых они изготовлены или наплавлены. Чем выше твердость, тем ниже интенсивность изнашивания. Поэтому важным при исследовании является разработка наиболее эффективных способов наплавки или напыления порошковыми материалами металлического или полимерного происхождения.

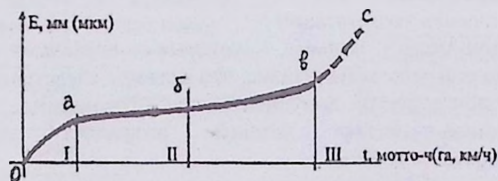


Рис. 5.12. Кривая нарастания износа конструктивных элементов: I — участок приработки; II — участок нормальной работы; III — участок интенсивного (аварийного) изнашивания.

В общем виде величину износа можно представить как:

$$E = \int_0^t f_e dt, \quad (5.11)$$

где f_e — функция, характеризующая процесс изнашивания;

t — величина наработки.

Как видно из рис. 5.12, конструктивный элемент в течение заданного ресурса (t) подвергается износу неравномерно.

5.9. Математические основы расчета надежности машин

5.9.1. Краткие сведения из теории вероятностей

Для количественного определения и сравнительной оценки надежности машин служит теория вероятностей. Теория вероятностей позволяет изучать массовые явления, то есть повторяющихся при многократных испытаниях.

Явления, проявляющиеся в процессе испытаний, называют **событиями**. В теории вероятностей — это всякий факт, который в результате опыта может произойти или не произойти. События подразделяются на достоверные, возможные, невозможные, совместные, несовместные, единственно возможные, равновозможные, зависимые и независимые. **Достоверным** называется событие, которое в результате данного испытания обязательно произойдет. **Возможным** — когда в процессе испытания оно может произойти и не произойти. **Невозможным** — если в результате испытания оно произойти не может.

Два события называются **совместными**, если при испытании появление одного из них не исключает возможности появления другого. **Несовместными** называются такие два события, когда появление одного из них исключает возможность появления другого.

События называются **единственно возможными**, когда при испытании произойдет хотя бы одно из них. Если при испытании происходит несколько возможных событий и при этом нет основания предполагать, что появление одних возможно других, то такие события называются **равновозможными**.

Зависимыми называются такие события, когда появление одного из них зависит от того, произошло или не произошло другое (например, отказ двигателя, установленного на тракторе, влечет потерю работоспособности последнего). **Независимыми** — если появление одних не исключает вероятности появления других (независимый отказ).

5.9.2. Вероятность события

Вероятностью события называется отношение числа случаев, благоприятствующих наступлению данного события, ко всему числу несовместных, единственно возможных и равновозможных. Оно выражается формулой [39, 60, 75]:

$$P(A) = m/N, \quad (5.12)$$

где $P(A)$ — вероятность события A ;

m — число случаев, благоприятствующих наступлению события A ;

N — общее число случаев, то есть число несовместных, единственно возможных, равновозможных событий.

Так как число благоприятных случаев всегда заключено между 0 и N (0 — для невозможного и N — для достоверного события), то вероятность события, вычисленная по формуле (5.12), всегда есть рациональная правильная дробь:

$$0 \leq P(A) \leq 1. \quad (5.13)$$

Вероятность не может быть больше единицы, потому что у дроби, которой она определяется, числитель не может быть больше знаменателя.

Пример. Пусть при испытании комбайна «Кейс» в течение времени t три раза отказал молотильный аппарат, два раза двигатель, четыре — ходовая часть. Какова вероятность отказа молотильного аппарата за период испытания t ?

Решение. Принимая обозначения: A — событие, заключающееся в появлении отказов молотильного аппарата; $N=9$ — общее число отказов; $m=3$ — число случаев, благоприятствующих событию A (число отказов молотильного аппарата).

Тогда $P(A) = m/N = 3/9 = 0,33$.

5.9.3. Случайная величина

Одним из основных в теории вероятностей является понятие случайной величины. Случайной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, неизвестное заранее.

При массовых испытаниях (опытах) каждое из возможных значений случайной величины $t_1, t_2, \dots, t_n$ может встречаться $m_1, m_2, \dots, m_n$ раз. Если всего было проведено N испытаний (опытов), то есть $\sum m_i = N$, то отношение m_i/N называется частотностью или относительной частотой. Выбранные из генеральной совокупности N объекты образуют выборку N объема. Совокупность, содержащая все исследуемые объекты, называется генеральной.

Случайные величины, принимающие только отдельные значения, которые можно заранее перечислить, называются прерывными или дискретными. Примером дискретных случайных величин может служить число отказов комбайна в период уборки, число ремонтов и другие. Случайные величины, которые в некотором интервале могут принимать любое значение называются непрерывными случайными величинами (например, скорость изнашивания деталей, уровень зерна в бункере комбайна, время безотказной работы объекта и другие).

5.9.4. Единичные и комплексные показатели надежности

В соответствии с ГОСТ 27.002-82 под надежностью понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения.

Надежность представляет собой развернутую во времени характеристику показателей качества.

Изделие является *работоспособным*, если оно выполняет заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Исправность — более широкое понятие, чем работоспособность.

При работе новых и отремонтированных машин в одинаковых условиях будут наблюдаться различные отказы и различные наработки. Это связано с тем, что при изготовлении (ремонте) машин невозможно выдержать однородность структуры материалов, абсолютно одинаковый технологический режим изготовления деталей и сборки сопряжений их узлов, а также при эксплуатации неизбежны отличия в обслуживании, нагрузках, климатических условиях и т.д. Поэтому износ деталей — случайная функция случайных переменных, а показатели надежности носят вероятностный характер. С увеличением числа наблюдаемых отказов появляется устойчивая закономерность, позволяющая исследовать и решать задачи надежности с достаточной точностью.

Вероятность безотказной работы в течение времени t определяют по формуле:

$$\bar{F}(t) = \frac{N - m(t)}{N} = 1 - \frac{m(t)}{N}, \quad (5.14)$$

где N — общее число наблюдаемых изделий;

$m(t)$ — количество отказавших деталей (машин) до наработки t .

Иногда используют показатель вероятности отказа:

$$\bar{F}(t) = \frac{m(t)}{N}. \quad (5.15)$$

Поскольку изделие (деталь или машина) может находиться в двух взаимоисключающих состояниях — работоспособным или неработоспособным, то сумма вероятности безотказной работы и отказа равняется единице:

$$\bar{F}(t) + \bar{P}(t) = 1. \quad (5.16)$$

В приведенных формулах черточкой обозначено статистическое (опытное) значение вероятности. Точность значения опытной вероятности все больше приближается к значению теоретической вероятности с увеличением количества опытов. Значение $\bar{P}$ является генеральной, а $\bar{P}$ — выборочной характеристикой, так как зависит от объема выборки и условий испытаний.

Чем сложнее изделие, тем труднее обеспечить её надежность. Современные машины имеют тенденцию к усложнению конструкции, поэтому для повышения уровня их надежности необходимо повышать надежность отдельных элементов и использовать некоторые специфические приёмы — резервирование, саморегулирование и др.

Основными числовыми единичными характеристиками случайных величин являются среднееарифметическое значение ($\bar{t}$), среднееквадратическое отклонение (σ) и коэффициент вариации (V). Нарботку или другие интересующие показатели разбивают на интервалы, число которых ориентировочно принимается:

$$n = \sqrt{N}, \quad (5.17)$$

где N — число выявленных показателей (общее число статистического ряда).

Для каждого интервала находят частоту m_i , то есть количество случаев в этом интервале, тогда интервальная вероятность:

$$P_i = \frac{m_i}{N}. \quad (5.18)$$

Среднее арифметическое значение равняется:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n t_{ic} \cdot P_i, \quad (5.19)$$

где t_{ic} — значение середины i -го интервала.

Среднее квадратическое значение определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ic} - \bar{t})^2 \cdot P_i}, \quad (5.20)$$

а коэффициент вариации, характеризующий относительное рассеивание показателей надежности, находят из зависимости

$$V' = \frac{\sigma}{t} \quad (5.21)$$

При наличии смещения, например, когда первые ресурсные отказы происходят после значительной наработки, в знаменатель формулы вводится величина смещения $t_{см}$:

$$V' = \frac{\sigma}{t - t_{см}} \quad (5.22)$$

Отказом является событие, производящее к полной или частичной потери работоспособности изделия. При расчетах показателей безотказности учитывают относительно простые, так называемые нересурсные отказы, а при расчетах долговечности – наиболее сложные ресурсные отказы, когда изделие или его основные элементы достигают заранее оговоренного техусловиями предельного состояния.

Средняя наработка на отказ определяется по формуле:

$$\bar{T}_o = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (5.23)$$

где m – суммарное количество отказов у N наблюдаемых изделий;

t_i – наработка i -го изделия.

По аналогичной формуле находят среднюю наработку на отказ:

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{i1}, \quad (5.24)$$

Интервальный параметр потока отказов равняется:

$$\bar{W}'_t = \frac{m(t + \Delta t) - m(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (5.25)$$

где $m(t + \Delta t)$ – суммарное количество отказов до наработки $t + \Delta t$;

$m(t)$ – суммарное количество отказов до наработки t ;

Δt – величина интервала.

Средний параметр потока отказов и средняя наработка на отказ обратно взаимосвязаны:

$$\bar{W}' = \frac{1}{\bar{T}_o}. \quad (5.26)$$

Среднее число отказов изделий за наработку t определяют по формуле:

$$\bar{m}_t = \frac{t}{\bar{T}_o}. \quad (5.27)$$

Надежность нельзя оценить какой-то одной величиной, это комплексный показатель, включающий в себя безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость: она может характеризоваться коэффициентами технической готовности $K_{тп}$ и удельной стоимости надежности C_n (рис. 5.13).

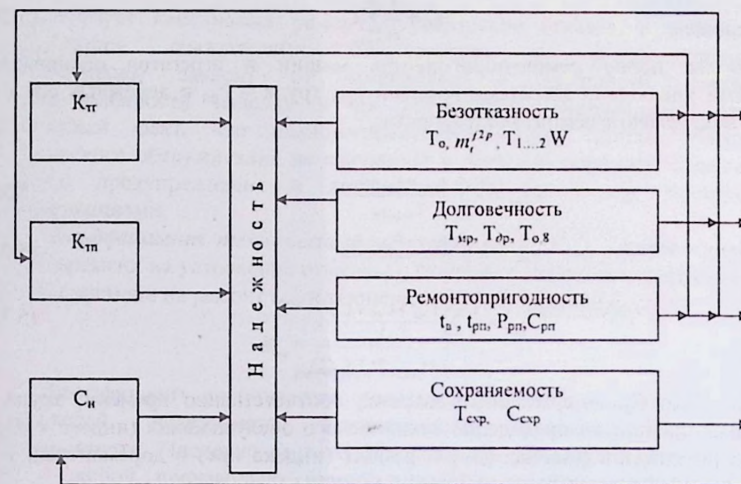


Рис. 5.13. Структура показателей надежности машины.

Безотказность – это свойство изделия сохранять работоспособность. Она характеризуется средней наработкой на отказ T_o , средней наработкой на первый отказ T_1 , параметрами потока отказов W , количеством отказов в 3-х группах сложности на определенную наработку (100, 2400 и 4800 мото-ч для дизельных двигателей) и другими показателями.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособность до предельного состояния, установленного на основе технических, экономических или качественных критериев. Для новых изделий определяется средний доремонтный $T_{др}$, а для отремонтированных – средний межремонтный ресурс $T_{мр}$. Для более оперативной оценки долговечности используют гамма-ресурс (например, 80%-ный гамма-ресурс ($T_{0,8}$), представляющий собой наработку, до которой γ изделий работоспособны, а $1-\gamma$ изделий достигли предельного состояния. Средний доремонтный (межремонтный) ресурс $T_{др(мр)}$ находят по формуле:

$$\bar{T}_{др(мр)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{др(мр)i} \quad (5.28)$$

Ремонтопригодность – это приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов. Это достигается путем проведения технического обслуживания и ремонта, проведения контроля, ремонта и замены деталей, узлов и оценивается временем восстановления работоспособности, т.е. затратами времени на обнаружение, выявление причин и устранение последствий отказа:

$$t_{\text{ш}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_{\text{ш}j} \quad (5.29)$$

Более полно ремонтпригодность машин и агрегатов оценивается средними удельными затратами времени $t_{\text{рп}}$, труда – $P_{\text{рп}}$ и денежных средств $C_{\text{рп}}$ на поддержание ремонтпригодности:

$$t_{\text{рп}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_{\text{мш}} + t_{\text{рш}} + t_{\text{ох}}}{T_{\text{оп(мр)}}}; \quad (5.30)$$

$$P_{\text{рп}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{P_{\text{мш}} + P_{\text{рш}} + P_{\text{ох}}}{T_{\text{оп(мр)}}}; \quad (5.31)$$

$$C_{\text{рп}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_{\text{мш}} + C_{\text{рш}} + C_{\text{ох}}}{T_{\text{оп(мр)}}}, \quad (5.32)$$

$t_{\text{мш}}, P_{\text{мш}}, C_{\text{мш}}$

где $t_{\text{рп}}$, $P_{\text{рп}}$, $C_{\text{рп}}$ – суммарные затраты, соответственно времени, труда и денежных средств на проведение технического обслуживания (индекс «ТО»), устранение отказов (индекс «О») и ремонт (индекс «р») в доремонтный или межремонтный период $T_{\text{др(мр)}}$ работы i -й машины.

Сохраняемость – это приспособленность изделия к хранению и транспортировке, заключающаяся в способности противостоять отрицательному влиянию условий хранения и транспортировки на последующие безотказность и долговечность изделия. Оценивается этот показатель средним сроком сохранения $T_{\text{схр}}$, то есть календарной продолжительностью хранения в заданных условиях и средними удельными затратами $C_{\text{схр}}$ на хранение техники; величина ее определяется суммарными затратами на заработную плату, материалы, амортизацию оборудования, зданий и сооружений машинных дворов и др. $\wedge$

$$C_{\text{схр}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_{\text{схр}i}}{T_{\text{оп(мр)}}}. \quad (5.33)$$

Коэффициент технической готовности ($K_{\text{тг}}$) характеризует работоспособность изделия в период между плановыми техническими обслуживаниями и ремонтами:

$$K_{\text{тг}} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{о}}}, \quad (5.34)$$

где $t_{\text{сум}}$ – суммарное время работы объектов;
 $t_{\text{о}}$ – суммарное время устранения отказов объектов.

Эта формула при использовании показателей безотказности $T_{\text{о}}$ и ремонтпригодности $T_{\text{р}}$ и принимает вид:

$$K_{\text{тг}} = \frac{T_{\text{р}}}{T_{\text{р}} + T_{\text{о}}},$$

где $T_{\text{о}}$ – наработка, соответствующая среднему времени $t_{\text{о}}$ устранения.

При расчете $K_{\text{тг}}$ не принимаются во внимание простои изделия при плановых ремонтах и технических обслуживаниях. Данный коэффициент

характеризует неплановый ремонт – устранение отказов, а величина его определяется показателями безотказности и ремонтпригодности, следовательно, зависит от количества и сложности отказов и приспособленности изделия к их устранению. Коэффициент отражает негативный факт, что планово-предупредительная система ремонта и технического обслуживания не выполняет в должной мере свое назначение – полного предупреждения и ликвидации отказов между техническими обслуживаниями.

Коэффициент технического использования ($K_{\text{ти}}$), кроме суммарных затрат времени на устранение отказов $t_{\text{о}}$, дополнительно учитывает суммарные затраты времени на ремонт $t_{\text{рем}}$ и техническое обслуживание $t_{\text{обсл}}$:

$$K_{\text{ти}} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{о}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{обсл}}}. \quad (5.36)$$

Коэффициент технического использования машины зависит от трех показателей надежности: **безотказности**, **ремонтпригодности** и **долговечности**. Численно этот коэффициент представляет вероятность того, что в любой произвольно взятый момент машина используется, а не простаивает на ремонте или на обслуживании. Коэффициент технического использования увеличивается при более четкой организации ремонта и технического обслуживания, при агрегатном методе ремонта, при проведении технических обслуживаний вне периода полевых работ или в нерабочее время, при достаточном наличии материалов и запасных частей.

Удельная стоимость надежности – наиболее полная характеристика надежности изделия. Это важнейший экономический показатель, отражающий затраты на изготовление, ремонт, обслуживание и хранение изделия, зависящий от следующих показателей:

$$C_{\text{н}} = C_{\text{н}} + C_{\text{рп}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{схр}}; \quad C_{\text{н}} = \frac{K}{T_{\text{н}}}, \quad (5.37)$$

где $C_{\text{н}}$ – удельная стоимость новой машины, представляющая собой частное от деления прейскурантной стоимости (K) на нормативный полный ресурс;

$C_{\text{пр}}$ – удельная стоимость простоя;

$C_{\text{рп}}$ и $C_{\text{схр}}$ – удельные затраты ремонтпригодности и сохраняемости.

Удельную стоимость простоя находят по формуле:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{чпр}} \cdot t_{\text{ч}} \cdot W, \quad (5.38)$$

где $C_{\text{чпр}}$ – стоимость 1 ч простоя машины.

Удельная стоимость надежности является наиболее информативным показателем затрат: на производство, ремонт и эксплуатацию машин при исследовании, для ее расчетов требуются полные и достоверные данные машинноиспользования в хозяйствах, включая наработку машин, расход запасных частей и материалов, зарплату, убытки от простоев и т.д.

5.9.5. Определение вероятностей сложных событий

Кроме определения вероятностей одиночных, часто необходимо определять вероятности более сложных событий, например, появление одного из нескольких возможных и совместно нескольких. В данном случае пользуются правилами сложения и умножения вероятностей.

Сложение вероятностей. Пусть происходят два события А и В. Определим вероятность появления одного из них (А или В):

$$P(A \text{ или } B) = P(A) + P(B) - P(AB), \quad (5.39)$$

где $P(A)$ – вероятность появления события А;

$P(B)$ – вероятность появления события В;

$P(AB)$ – вероятность одновременного (совместного) появления события А и В.

Пример. Пусть установлено, что вероятность безотказной работы ножного тормоза автомобиля за время t составляет $P(t) = 0,98$, а ручного за тот же промежуток времени – $P(B) = 0,99$. Нужно определить вероятность безотказной работы тормозной системы автомобиля.

Решение. Подставив значения в выражение (5.39), имеем $P_{\text{тс}} = 0,98 + 0,99 - (0,98 \cdot 0,99) = 0,9998$.

Умножение вероятностей. Вероятность совместного наступления нескольких независимых событий равна произведению вероятностей этих событий:

$$P(A_1 A_2 \dots A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i). \quad (5.40)$$

Пример 1. Пусть рабочий обслуживает четыре станка. Вероятность того, что в течение часа станок не потребует внимания рабочего, для первого станка равна 0,9, второго – 0,95, третьего – 0,85, для четвертого – 0,8. Считая, что станки работают независимо друг от друга, некоторую вероятность находим по формуле (5.40), то есть $P = 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 0,5814$.

Пример 2. Определить вероятность безотказной работы машинно-тракторного агрегата, состоящего из двух машин (трактора и сеялки) если известно, что для трактора $P_T = 0,9$, а для сеялки $P_C = 0,7$. В этом случае вероятность безотказной работы машинно-тракторного агрегата согласно формуле (5.40) составит:

$$P_{\text{м.т.}} = P_T \cdot P_C = 0,9 \cdot 0,7 = 0,63.$$

5.9.6. Распределение случайной величины

Ранее отмечалось, что случайные величины могут быть прерывного (дискретного) и непрерывного типов. Рассмотрим прерывную (Т) с возможными значениями $t_1, t_2, \dots, t_n$. Величина Т может принять любое из них с некоторой вероятностью $P(T=t_1) = P_1, P(T=t_2) = P_2, P(T=t_n) = P_n$.

Поскольку несовместные события образуют полную группу, то:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1.$$

Эта суммарная вероятность каким-то образом распределена между отдельными значениями Т. Всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями, называется законом распределения случайной величины. Если значения Т и соответствующие им вероятности можно представить как

Т	t_1	t_2	t_3	...	t_n
Р	P_1	P_2	P_3	...	P_n

то такое распределение будет рядом распределения случайной величины Т. С целью ее наглядности изображают графически. По оси абсцисс откладывают возможные значения случайной величины, а по оси ординат – вероятности этих значений. Соединив точки отрезками прямых, получают фигуру, которая называется многоугольником (полигоном) распределения (рис. 5.14).

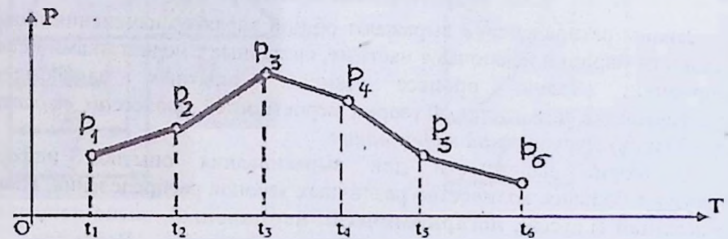


Рис. 5.14. Многоугольник распределения случайной величины Т.

Для непрерывной случайной величины такую характеристику построить нельзя, так как она имеет бесчисленное множество возможных значений, заполняющих некоторый промежуток.

5.9.7. Числовые характеристики случайной величины

При решении практических задач не всегда необходимо полное и весьма сложное описание случайной величины в виде функции распределения. Достаточно знать ее основные числовые характеристики, выражающие наиболее существенные особенности распределения.

Числовыми характеристиками случайной величины являются математическое ожидание, (среднеарифметическая величина), начальные и центральные моменты (дисперсии) и коэффициент вариации.

Математический закон теории вероятностей представляет собой математическое выражение закономерностей, фактически существующих в массовых случайных явлениях природы.

Любое исследование случайных явлений, основывающееся на теории вероятностей, прямо или косвенно опирается на экспериментальные данные. Их регистрация, описание и анализ составляют предмет специальной науки – математической статистики, в основе которой заложены рациональные

способы систематизации и анализа эмпирических данных, позволяющие установить статистические закономерности.

Основные задачи математической статистики состоят в следующем:

1. Установление законов распределения случайных переменных на основе статистических данных. Закономерности случайных массовых явлений проявляются тем отчетливее, чем больше объем статистического материала.

2. Решение проблем, которые выдвигает проверка статистических гипотез. Поскольку исследователь, как правило, не располагает большим объемом данных, возникает необходимость принять определенную рабочую гипотезу о характере статистической закономерности, которая проявляется в исследуемом явлении, и проверить ее с помощью имеющегося материала.

3. Оценка неизвестных параметров различных распределений и определение ее точности.

5.9.8. Теоретические законы распределения

Законы распределения выражают общий характер изменения показателя надежности машин и исключают частные, связанные с недостатками первичной информации. Такой процесс замены опытных закономерностей теоретическими называется в теории вероятностей процессом выравнивания (сглаживания) статистической информации.

В теории надежности для выравнивания опытной информации используют большое количество различных законов распределения. Например, нормальный (Гаусса), логарифмически-нормальный, экспоненциальный, биномиальный, гамма-распределение, Пуассона, Вейбулла, Релея, Стьюдента и другие.

У каждого закона своя область применения, свои параметры и расчетные уравнения, свои заранее приготовленные таблицы, упрощающие проведение расчетов.

Применительно к показателям надежности машин, эксплуатируемых в сельском хозяйстве, в подавляющем большинстве случаев используют закон нормального распределения (ЗНР) и закон распределения Вейбулла (ЗРВ). Экспоненциальный закон распределения и закон распределения Релея представляют собой частные случаи закона распределения Вейбулла.

5.9.9. Дифференциальная и интегральная функции законов распределения

Каждый закон распределения показателей надежности характеризуется двумя функциями: 1) дифференциальной (рис. 5.15), или функцией плотности вероятностей, и 2) интегральной или суммарной функцией распределения (рис. 5.16).

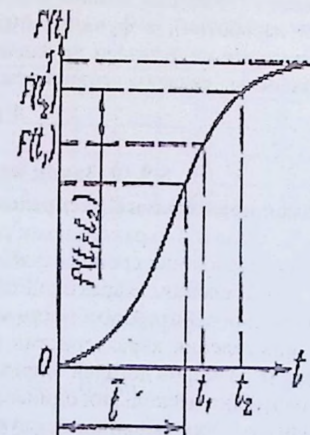
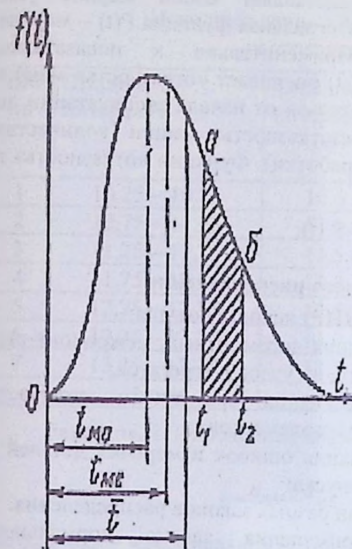


Рис. 5.15. Дифференциальная функция. Рис. 5.16. Интегральная функция.

По оси абсцисс дифференциальной функции (рис. 5.15) откладывают значения показателя надежности, которые для простоты обработки нормируют по соответствующему параметру законы распределения. По оси ординат наносят вероятности или количество случаев появления показателя надежности в заданном интервале его значений. Чем меньше величина интервала, тем выше вероятность отдельных машин, находящихся в этом интервале. Вероятность того, что показатель надежности в результате опыта примет значение предварительно заданной постоянной величины A , равна 0:

$$f(t = A) = 0.$$

Площадь под дифференциальной кривой, или одно и то же, сумма вероятностей всех возможных значений показателя надежности, равна единице.

Площадь участка кривой от t_1 до t_2 равна (в долях единицы) вероятности или количеству показателя надежности, попавших в интервал значений от t_1 до t_2 .

На рис. 5.15 показаны среднее $\bar{t}$, модальное $t_{мод}$ и медианное $t_{мс}$ значения показателя надежности. Модальной называется наиболее вероятная величина показателя надежности. Медианной — такая величина показателя надежности, перпендикуляр из которой делит площадь под дифференциальной кривой на две равные части. Интегральная функция (рис. 5.16) получена последовательным суммированием площадей под дифференциальной функцией в границах значений показателя надежности.

Интегральная функция $F(t)$ представляет собой мерило уже реализованных показателей надежности, а интегральная функция $P(t)$ — мерило еще не реализованных показателей. Применительно к показателям безотказности или долговечности функция $F(t)$ оценивает «отказность» машин (количество отказавших машин или число отказов от начала эксплуатации до заданной наработки), а функция $P(t)$ — «безотказность» машин (количество машин, которые не отказали до заданной наработки). Функции «отказность» и «безотказность» связаны уравнением:

$$F(t) = 1 - P(t).$$

5.9.10. Закон нормального распределения

Закон нормального распределения (ЗНР) используют для:

- определения характеристик рассеивания доремонтных, межремонтных и полных ресурсов или сроков службы машин, их узлов и агрегатов;
- определения характеристик рассеивания времени и стоимости восстановления работоспособности машин и их элементов;
- определения характеристик рассеивания ошибок измерения деталей и рассеивания размеров деталей в пределах допуска;
- сложения нескольких одинаковых или разных законов распределения.

Однако приведенные случаи применения закона нормального распределения не являются обязательными. Возможны случаи, когда рассеивание перечисленных показателей подчинено другим законам распределения. Поэтому в каждом конкретном случае расчета необходимо проверять правильность выбора закона распределения.

Закон нормального распределения характеризуется дифференциальной $f(t)$ и интегральной $F(t)$ функциями. Отличительная особенность этих функций — симметрическое рассеивание частных значений показателей надежности относительно среднего значения $\bar{t}$ или несимметричное.

Дифференциальную функцию или плотность вероятности нормального распределения определяют по уравнению [42-44, 51-70]:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}},$$

где e — основание натуральных логарифмов, равное 2,71828; η — отношение длины окружности к ее диаметру, равное 3,14159; $\bar{t}$ и σ^2 — соответственно среднее значение и дисперсия случайной величины.

Пример. Определение предельных размеров детали. Пусть даны размеры 40...60 деталей измеренные в процессе дефектации (табл. 5.3).

Таблица 5.3.

Исходные данные и расчет основных параметров распределения размера детали

№№ пп	Ширина интервала	Середина интервала, x_i	Частота встречае- мости, m_i	x_i'	$x_i' m_i$	$x_i'^2 m_i$
1	10,25 – 10,75	10,5	2	0	0	0
2	10,75 – 11,25	11,0	5	1	5	5
3	11,25 – 11,75	11,5	10	2	20	40
4	11,75 – 12,25	12,0	15	3	45	135
5	12,25 – 12,75	12,5	12	4	48	192
6	12,75 – 13,25	13,0	8	5	40	200
7	13,25 – 13,75	13,5	4	6	24	144
Итого			N=56		182	716

Решение. 1. Определяем ширину интервалов h по формуле:

$$h = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{n} = \frac{13,75 - 10,25}{7} = 0,5 \text{ мм}, \quad (1)$$

где $d_{\max}, d_{\min}$ — максимальное и минимальное значения измерений, n — число интервалов в таблице.

2. Определяем значение середин интервалов. Так:

$$\text{для 1-го интервала } x_1 = \frac{10,25 + 10,75}{2} = 10,5 \text{ мм};$$

$$\text{для 2-го интервала } x_2 = \frac{10,75 + 11,25}{2} = 11,0 \text{ мм};$$

$$\text{для 3-го интервала } x_3 = \frac{11,25 + 11,75}{2} = 11,5 \text{ мм и т.д.}$$

Результаты заносим в графу x_i .

3. Заполняется графа m_i — частота встречаемости. Суммарное значение частоты встречаемости должно быть равно числу выполненных измерений ($\sum m_i = N$).

4. Вводим новую переменную, значение которой для i -го интервала определяем по формуле:

$$x_i' = \frac{x_i - a}{h},$$

где x_i' — новая переменная величина;

a — значение середины первого интервала;

h — ширина интервала.

Так, для 1-го интервала:

$$x_1' = \frac{10,5 - 10,5}{0,5} = 0;$$

для 2-го интервала

$$x_2' = \frac{11,0 - 10,5}{0,5} = 1,0 \text{ мм};$$

для 3-го интервала

$$x_3' = \frac{11,5 - 10,5}{0,5} = 2,0 \text{ мм и т.д.}$$

Полученные значения x_i' заносим в соответствующую графу табл. 5.3

5. Находим произведение $x_i m_i$ и суммарную величину

$$\sum_{i=1}^n x_i' m_i \text{ (в примере - 118)}.$$

6. Определяем произведение $x_i^2 m_i$ и суммарную величину $\sum_{i=1}^n x_i'^2 m_i$ (в

примере - 716).

7. Найдем среднеарифметическое и среднеквадратическое отклонение:

$$\bar{x} = \alpha + \mu_1 h; \quad \sigma = \sqrt{h^2 (\mu_2 - \mu_1^2)}, \quad (5.3)$$

где α - значение середины первого интервала;

μ_1 - первый начальный момент;

μ_2 - второй начальный момент;

h - ширина интервала.

Здесь:

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i' m_i}{N} = \frac{182}{56} = 3,25 \text{ мм}; \quad \mu_2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i'^2 m_i}{N} = \frac{716}{56} = 12,78 \text{ мм}. \quad (5.4)$$

8. Определяем коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{0,74}{12,125} = 0,06.$$

Так как величина коэффициента близка к нулю, закон распределения измеряемого размера детали полагаем нормальным, плотность распределения которого:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}. \quad (5.6)$$

9. Находим параметр распределения t соответствующий допустимому без ремонта размеру детали:

$$t = \frac{x_{\text{доп}} - \bar{x}}{\sigma}. \quad (5.7)$$

для вала

$$t = \frac{d_{\text{доп}} - \bar{x}}{\sigma};$$

для отверстия

$$t = \left| \frac{D_{\text{доп}} - \bar{x}}{\sigma} \right|,$$

где $d_{\text{доп}}$, $D_{\text{доп}}$ - значение диаметра, соответственно вала и отверстия, допустимого без ремонта.

Величины $d_{\text{доп}}$, $D_{\text{доп}}$ принимают по данным карты дефектовки, либо определяют расчетным путем.

Так, для подвижных сопряжений, допустимые без ремонта размеры деталей, а также при сопряжении их с новыми вычисляют по формулам:

для вала

$$d_{\text{доп}} = d_{\text{мин}} - (S_{\text{доп}} - S_{\text{макс}}); \quad (5.8)$$

для отверстия

$$D_{\text{доп}} = D_{\text{макс}} + (S_{\text{доп}} - S_{\text{макс}}),$$

где $S_{\text{доп}}$ - допустимый без ремонта зазор в сопряжении, мм;

$S_{\text{макс}}$ - наибольший зазор посадки для новых деталей, мм;

$d_{\text{мин}}$ - наименьший размер новой детали, мм;

$d_{\text{макс}}$ - наибольший размер новой детали, мм.

10. Используя приложение 1 [42-49], для найденного значения t определяем вероятность того, что размер детали находится в пределах допустимого без ремонта. Пусть для нашего примера $D_{\text{доп}} = 13,05$ мм. Тогда, используя зависимость (5.7)

$$t = \frac{13,05 - 12,125}{0,744} = 1,11.$$

Для $t = 1,11$ $f(t) = 0,2155$ (см. прил. 1 [2/7]).

Вероятность того, что размер детали находится в пределах допустимого без ремонта:

для отверстия (рис. 5.17, а)

$$P(t) = f(t); \quad (5.9)$$

для вала (рис. 5.17, б)

$$P(t) = 1 - f(t).$$

11. Вероятность того, что деталь потребует восстановления, определяют по формулам:

для отверстия

$$P(t_0) = 1 - f(t);$$

для вала

$$P(t_0) = f(t). \quad (5.10)$$

12. Используя результат, полученный по (5.10) годовую программу восстановления детали, находим как:

$$N_0 = N_r \cdot P(t_0), \text{ шт.} \quad (5.11)$$

Этот результат можно использовать при выборе способа восстановления детали с учетом годовой программы.

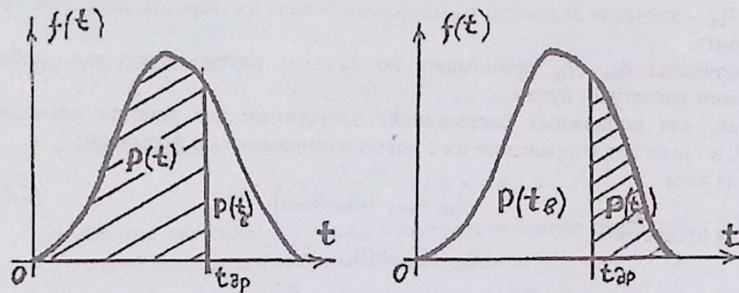


Рис. 5.17. Вероятность распределения размера детали: а-отверстия; б-вала; $P(t)$ – вероятность того, что деталь годная без ремонта; $P(t_ар)$ – вероятность того, что деталь потребует восстановления

Если, ремонтируемая деталь, имеет несколько дефектов, которые нельзя рассматривать только как дефекты поверхности вала или отверстия, то программу восстановления детали по каждому дефекту определяют по формуле:

$$N_{ei} = N_r \cdot P_{di} \quad (5.12)$$

где P_{di} – вероятность встречаемости дефекта.

Вероятность встречаемости дефекта определяем по формуле:

$$P_{di} = \frac{\sum M_i}{N_r} \quad (5.13)$$

где N_r – число проверенных деталей.

5.9.11. Закон распределения Вейбулла

Закон распределения Вейбулла (ЗРВ) применяют:

а) для определения характеристик рассеивания ресурсов или сроков службы отдельных деталей и сопряжений;

б) для определения характеристик рассеивания наработок между эксплуатационными отказами;

в) для определения характеристик рассеивания доремонтных и межремонтных ресурсов или сроков службы тех узлов и сопряжений, ресурсные отказы которых обуславливаются выходом из строя одной и той же детали или сопряжения.

Отличительная способность закона распределения Вейбулла – правосторонняя асимметрия дифференциальной функции. В отличие от нормального закона среднее, модальное и медианное значения показателя надежности при законе распределения Вейбулла не равны между собой.

Если распределение случайной величины подчиняется закону Вейбулла (Вейбулла-Гнеденко), то дифференциальная функция такого распределения выразится уравнением:

$$F(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$$

Интегральную функцию распределения можно представить как:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$$

где a и b – параметры распределения Вейбулла, которые определяются на основании информации, полученной в процессе опытов.

В общем виде функция изменения параметра технического состояния (показателя надежности) имеет следующий вид:

$$F(x) = ax^a$$

где a – показатель степени, характеризующий изменение параметра x .

Ниже приведены эмпирические значения показателя степени a , полученные в результате исследований надежности машин в эксплуатации:

Расход газов, прорывающихся в картер	1,3
Угар масла.....	2,0
Мощность двигателя.....	1,7
Износ плунжерных пар.....	1,1
Утопание клапанов.....	1,6
Зазоры в кривошипно-шатунном механизме.....	1,2-1,6
Износ кулачков распределительного вала.....	1,1
Радиальный зазор в подшипниках качения и скольжения.....	1,5
Износ посадочных гнезд корпусных изделий.....	1,0
Износ шестерен по толщине.....	1,5
Износ шлицев валов.....	1,1
Износ валов, пальцев и осей.....	1,4

Пример 1. Рассчитать ресурс двигателя до первого капитального ремонта на период 1994–2002 гг.

1. Пусть в результате сбора и обработки информации о надежности двигателя получены следующие данные:

Год	1994	1996	1997	1999	2000	2002
Δt	1	2	3	4	5	6
(интервал времени)						
T(ресурс)	$7 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^3$	$15 \cdot 10^3$	-	$20 \cdot 10^3$

1. Строится график $Y=f(x)$.
2. Выбираем линейную модель прогнозирования $Y = \alpha_0 + \alpha_1 x$.
3. По формулам (см. табл. 5.3):

$$\alpha_0 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}; \quad \alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

определяем параметры $\alpha_0 = 4,54 \cdot 10^3$ и $\alpha_1 = 2,6 \cdot 10^3$.

Пример 2. Пусть ресурс двигателя СМД-14 первичного производства представлен статистическим рядом (табл. 5.4.).

Таблица 5.4.

Статистический ряд ресурсов первичного производства двигателей СМД-14

Среднее значение интервала, $t_i, 4$	170	2250	2750	3250	3750	4250	4750	5250	5750	6250	6750
Частота повторемости M_i	2	11	13	19	8	3	3	3	1	1	1

Примечание. При проверке по критериям согласия закона распределения ресурса (табл. 4.) наибольшую вероятность выражает закон Вейбулла.

Определить параметры распределения и коэффициент вариации.

Решение. Находим математическое ожидание ресурса первичного производства двигателей СМД-14: $\bar{t} = t_0 + \Delta t \alpha_1 = 3340$ ч, где $t_0 = 1250$ ч; $\Delta t = 50$ ч;

$$\alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^k m_i t_i}{\sum_{i=1}^k m_i} = 4,18; \quad t_i^1 = \frac{t_i - t_0}{\Delta t}.$$

Установим среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \Delta t \sqrt{\alpha_2 - \alpha_1^2} = 1040 \text{ ч};$$

$$\alpha_2 = \frac{\sum_{i=1}^k m_i (t_i^1)^2}{\sum_{i=1}^k m_i} = 21,78.$$

Коэффициент вариации будет:

$$v^2 = \sigma^2 / \bar{t}^2 = 1040^2 / 3340^2 = 0,311.$$

По табулированным значениям распределения при $V = 0,311$:

$$v = 3,57; C_v = 0,28, \text{ тогда } \alpha = v / C_v = 1040 / 0,28 = 3714.$$

5. Линейная модель прогноза имеет следующий вид: $Y = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 x$.

По ней можно построить график изменения прогнозируемого параметра (y) во времени (x).

6. Вычисляем теоретический динамический ряд:

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 1 = 7,14 \cdot 10^3; \quad \bar{y}_2 = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 2 = \\ &= 9,74 \cdot 10^3; \quad \bar{y}_3 = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 3 = 12,34 \cdot 10^3; \quad \bar{y}_4 = 14,94 \cdot 10^3; \\ \bar{y}_6 &= 20,14 \cdot 10^3. \end{aligned}$$

7. Прогноз на один интервал вперед (2004 г.):

$$\bar{y}_7 = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 7 = 22,74 \cdot 10^3 \text{ час.}$$

Прогноз на два интервала вперед (2006 г.): $\bar{y}_8 = 4,54 \cdot 10^3 + 2,6 \cdot 10^3 \cdot 8 = 25,34 \cdot 10^3 \text{ час.}$

Прогноз на три интервала вперед (2008 г.): $\bar{y}_9 = 27,94 \cdot 10^3 \text{ час.}$

8. Вычисляем ошибку прогноза:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{(y_1 - \bar{y}_1)^2 + (y_2 - \bar{y}_2)^2 + \dots + (y_6 - \bar{y}_6)^2}{6}} = 0,21 \cdot 10^3.$$

9. С вероятностью: $0,68 \ Y_7^* = \bar{y}_7 \pm \delta = 22,74 \cdot 10^3 \pm 0,21 \cdot 10^3 \text{ час}$

$Y_8^* = 25,34 \cdot 10^3 \pm 0,21 \cdot 10^3 \text{ час}; \quad \bar{y}_9^* = 27,94 \cdot 10^3 \pm 0,21 \cdot 10^3 \text{ час.}$

10. С вероятностью $0,95 \ Y_7^* = \bar{y}_7 \pm 2\delta = 22,74 \cdot 10^3 \pm 0,42 \cdot 10^3 \text{ час};$

$Y_8^* = 25,34 \cdot 10^3 \pm 0,42 \cdot 10^3 \text{ час}; \quad \bar{y}_9^* = 27,94 \cdot 10^3 \pm 0,42 \cdot 10^3 \text{ час};$

11. С вероятностью $0,95 \ Y_7^* = \bar{y}_7 \pm 3\delta = 22,74 \cdot 10^3 \pm 0,63 \cdot 10^3 \text{ час};$

$Y_8^* = 25,34 \cdot 10^3 \pm 0,63 \cdot 10^3 \text{ час}; \quad \bar{y}_9^* = 27,94 \cdot 10^3 \pm 0,63 \cdot 10^3 \text{ час.}$

Таким образом, ресурс двигателя в 2004 г. с вероятностью 0,95 составит $T_1 = 22,74 \cdot 10^3 \pm 0,42 \cdot 10^3 \text{ час.}$ В 2006 г. с той же вероятностью будет $T_2 = 25,34 \cdot 10^3 \pm 0,42 \cdot 10^3 \text{ час.}$, а в 2008 г. $T_3 = 27,94 \cdot 10^3 \pm 0,42 \cdot 10^3 \text{ час.}$

5.9.12. Критерии согласия опытных и теоретических распределений показателей надежности

Теоретический закон распределения для выравнивания опытной информации выбирают:

а) в соответствии с областью применения теоретического закона распределения (ТЗР);

б) на основе визуального совпадения полигона опытного распределения с кривой дифференциальной функции ЗНР или ЗРВ;

в) по лучшему совпадению опытных точек информации с интегральной прямой ЗНР или ЗРВ;

г) по величине коэффициента вариации.

Однако в некоторых случаях перечисленные методы выбора ТЗР могут не дать желаемого результата. В таких случаях ТЗР выбирают по критериям согласия.

Физический смысл проверки «согласия» заключается в определении расхождения опытной и теоретической вероятностей. При этом в качестве меры совпадения или расхождения выбирают различные критерии согласия: сумму квадратов отклонений теоретических вероятностей от опытных, наибольшее

или суммарное отклонение кривой накопленных опытных вероятностей от интегральной кривой теоретического закона распределения и так далее.

Критерий согласия является случайной величиной и, следовательно, подчиняется определенному закону распределения.

В теории вероятностей применяют несколько критериев согласия. Применительно к показателям надежности тракторов и сельскохозяйственных машин чаще всего используют критерии согласия Пирсона χ^2 .

Критерий согласия Пирсона χ^2 (χ^2 квадрат) представляет собой сумму квадратов отклонений опытных и теоретических частот в каждом интервале статистического ряда информации:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n_y} \frac{(m_i - m_{Ti})^2}{m_{Ti}}, \quad (5.43)$$

где n_y – число интервалов в укрупненном статистическом ряду;

m_i – опытная частота в i -ом интервале статистического ряда;

m_{Ti} – теоретическая частота в i -ом интервале;

$$m_{Ti} = N [F(t_{ik}) - F(t_{i-1})], \quad (5.44)$$

где N – количество точек информации;

$F(t_{ik}) - F(t_{i-1})$ – интегральные функции соответственно в конце и начале i -го интервала значений показателя надежности.

Если исходная информация о показателе надежности представлена в виде статистического ряда, то для определения критерия согласия χ^2 составляют укрупненный статистический ряд, соблюдая правило: $n_y \geq 4, m_i \geq 5$.

Если нет статистического ряда можно всю исходную информацию разбить на ряд интервалов разной величины по возрастающему значению показателя надежности, чтобы $n_y \geq 4$, а $m_i \geq 5$.

Пример. Предположим, что для расчета доремонтных ресурсов двигателей укрупненный статистический ряд информации приведен в таблице 5.5.

Таблица 5.5.

Укрупненный статистический ряд информации определенных ресурсов двигателей

Интервал, мото-ч	Опытная частота, m_i	Теоретическая частота m_{Ti} по ЗНР	Теоретическая частота m_{Ti} по ЗНР
до 3500	20	19,32	20,70
3500-4500	29	28,29	27,60
4500-5000	10	11,04	10,35
выше 500	10	10,35	10,35

В случае ЗНР теоретическую частоту подсчитывает по (5.44) и по данным таблицы 3 приложения [49, 52].

Для конца первого интервала укрупненного статистического ряда:

$$m_{T1} = N \cdot F_0 \left(\frac{3500 - 4050}{925} \right) = 69 F_0 (-0,59) = 69 \cdot 0,28 = 19,32.$$

До конца второго интервала:

$$m_{T2} = 69 \cdot F_0 \left(\frac{3500 - 4050}{925} \right) = 19,32 = 47,61 - 19,32 = 28,29$$

и т.д. (см. колонку 3 табл. 5.4.)

В случае ЗРВ интегральную функцию определяют по таблице в приложении 2.7., вход в которую осуществляют по величине параметров α ($\alpha = 3080$ мото-ч; $t_{cm} = 1250$ чел-ч).

Для конца первого интервала:

$$\frac{3500 - 1250}{3080} = 0,73; F_0(0,73) = 0,30.$$

Теоретическую частоту до конца первого интервала определяют по уравнению (5.44):

$$m_{T1} = 69 \cdot 0,30 = 20,70$$

Для второго интервала:

$$\frac{3500 - 1250}{3080} = 1,06; F_0(1,06) = 0,70; m_{T2} = 69(0,70 - 0,30) = 27,60$$

и т.д. (см. колонку 4 табл. 5.4.)

ЗРВ выбирают по величине критерия χ^2 [49].

Для закона нормального распределения:

$$\chi^2 = \frac{(20 - 19,32)^2}{19,32} + \frac{(29 - 28,29)^2}{28,29} + \frac{(10 - 11,04)^2}{11,04} + \frac{(10 - 10,35)^2}{10,35} = 0,15;$$

$$\chi^2 = \frac{(20 - 20,70)^2}{20,70} + \frac{(29 - 27,60)^2}{27,60} + 2 \cdot \frac{(10 - 10,35)^2}{10,35} = 0,58.$$

Судя по значениям критериев согласия, приходим к окончательному выводу о том, что применительно к доремонтным ресурсам дизельного двигателя более приемлемым является закон нормального распределения.

Пользуясь критерием согласия χ^2 , по таблице 12 приложения [49] определяют вероятность совпадения опытных и теоретических данных. Вероятность совпадения при прочих равных условиях зависит и от повторности использованной информации. Поэтому для входа в таблицу приложения необходимо определить число степеней свободы r по формуле:

$$r = n_y - k, \quad (5.45)$$

где n_y – число интервалов укрупненного статистического ряда;

k – число обязательных связей;

r – число степеней свободы или номер строки в таблице 12 приложения. [49]

Для закона распределения Вейбулла, так же как и для закона нормального распределения, число обязательных связей равно трем: две связи — два параметра распределения и третья связь $P=1,0$.

Таким образом, в нашем расчете:

$$r = 4 - 3 = 1.$$

Следовательно, значения критерия χ^2 находим в первой строке, а вероятность совпадения определим в заглавной строке (значение P) таблицы приложения [49]. Таким образом, вероятность совпадения закона нормального распределения ($\chi^2 = 0,15$) составляет около 7%, а вероятность совпадения закона распределения Вейбулла ($\chi^2 = 0,58$) — около 45%.

Следует иметь в виду, что критической вероятностью совпадения принято считать $\beta = 10\%$. Если $\beta < 10\%$ выбранный для выравнивания, теоретический закон распределения следует считать непригодным.

5.9.13. Планы наблюдений и виды информации

На основе испытаний или наблюдений для экспертной оценки подсчитывают **полный и остаточный ресурсы** основных деталей и узлов машины. Недостаточное количество машин при испытании может внести ошибку в результаты расчетов показателей надежности и сделать их непригодными для практического использования. С другой стороны слишком большая повторность испытаний, в процессе научного исследования, хотя и обеспечивает высокую точность расчетов, будет неприемлема из экономических соображений, вследствие высокой стоимости таких испытаний. Таким образом, необходимо испытывать такое количество машин, при котором получается достаточная точность конечных результатов при невысоких затратах.

Полученную в процессе испытания (наблюдения) машин информацию сводят в таблицы, которые являются основой для последующей математической обработки и расчета показателей надежности.

Для сбора информации по надежности новых машин проводят их испытания на машиноиспытательных станциях (МИС) или наблюдают за их работой в хозяйственных условиях.

В процессе сбора информации в хозяйственных условиях возможны различные варианты планов наблюдений и соответственно видов информации.

ГОСТ 17510-72 предусматривает следующие пять планов наблюдений [49, 53-60]:

1. **План NUN.** Наблюдения ведут до такой наработки, при которой у всех N машин, находящихся под наблюдением, будут зафиксированы показатели надежности, интересующие наблюдателя. Буква U , как в этом, так и в других планах наблюдения означает, что предусматривается снятие с наблюдения тех машин, у которых зарегистрирован показатель надежности.

2. **План NUT.** Наблюдения ведутся за N машинами до наперед заданной наработки T независимо от того, у скольких машин из числа N будут зарегистрированы показатели надежности.

При планах NUN и NUT количество наблюдаемых машин постепенно уменьшается по мере увеличения наработки T .

3. **План NRT.** Наблюдения ведутся за N машинами до их наработки T независимо от того, у скольких машин и сколько показателей надежности будут зарегистрированы.

Буква R , как в этом, так и в других планах наблюдения означает, что предусматривается восстановление работоспособности вышедших из строя машин или их элементов, а также их повторная постановка под наблюдение.

Таким образом, при плане NRT количество наблюдаемых машины N остается постоянным за все время наблюдения.

4. **План NUr.** Наблюдения ведут до фиксации у всех N машин наперед заданного количества (r) к показателям надежности (например (r) отказов).

5. **План NRr.** То же, что и план NUr , при условии восстановления работоспособности вышедших из строя машин и повторного их наблюдения.

При сборе информации по надежности машин наибольшее применение находят планы наблюдений NUN , NUT и NRT .

План используют главным образом при сборе информации о технических ресурсах и сроках службы машин (элементов) относительно невысокой долговечности (комбайны, хлопкоуборочные машины), сеялки, плуги и т.д.). При таком плане наблюдений можно получить наиболее полную, а следовательно, и наиболее точную информацию.

Проводить ресурсные испытания тракторов и автомобилей при плане наблюдения NUN практически невозможно вследствие их относительно высокой долговечности. Поэтому при сборе информации по показателям долговечности таких машин используют план наблюдения NUT с ограниченной наработкой T до конца наблюдения.

При использовании **планом NUT** возможны случаи преждевременного снятия с наблюдения некоторых исправных машин (передача машин в другое хозяйство, рекламация машин и др.), наработка которых не достигла заданных значений.

План **NRT** широко используют при сборе информации о показателях безотказности тракторов и сельскохозяйственных машин, а также об удельных затратах времени и денежных средств на устранение эксплуатационных отказов, и проведении операций технического обслуживания.

Информацию о **единичных и комплексных показателях** ремонтпригодности и сохранности собирают по произвольному плану наблюдения в процессе ремонта машин или их постановки на хранение.

Информацию о **комплексных показателях** надежности (удельная стоимость надежности, коэффициенты готовности и технического использования) собирают при смешанных планах наблюдения (комбинация информации по показателям долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохранности).

Планы NUN, NUT и NRT считают при наблюдении за работой одной группы тракторов или сельскохозяйственных машин. Например, если под наблюдением находятся N тракторов и наблюдения проводят в течение T мотто-ч, то достигшие предельного состояния машины снимают с дальнейшего наблюдения, а возникшие эксплуатационные отказы устраняют без снятия

машин с наблюдения. Применительно к показателям долговечности (ресурсы, сроки службы, интенсивность отказов) такие наблюдения соответствуют плану NUT, а применительно к показателям безотказности (параметр потока отказов, наработка на отказ) – плану NRT.

Количество и качество исходной информации должны быть такими, чтобы независимо от метода её обработки, относительная ошибка переноса (δ) не превышала 10-20%.

5.9.14. Определение полного фактического ресурса детали

При расчете расхода запасных частей к тракторам и сельскохозяйственным машинам, а также составлений заявок на запасные части, необходимо учитывать фактический полный ресурс детали или сопряжения $\bar{T}_\phi$. Этот ресурс меньше величины полного ресурса $\bar{T}_n$ и на половину межремонтного ресурса машины в целом (при полнокомплектном методе ремонта) или её отдельного агрегата (при агрегатном методе ремонта).

В процессе ремонта и дефектации, детали снимают с машины и не допускают к дальнейшей работе, если величина их износа превышает допустимое значение и др. В общем случае фактический средний ресурс детали или сопряжения может колебаться в интервале от ($T_n - T_{np}$) до T_n .

Таким образом, средний фактический ресурс детали или сопряжения определяют по формуле:

$$\bar{T}_\phi = \bar{T}_n - \frac{T_{np}}{2} \quad (5.46)$$

5.9.15. Методика обработки информации показателей надежности

Существует несколько методов обработки информации. Некоторые из них например, метод максимального правдоподобия сложный, чем требуют вычислительной техники.

Использование таких методов в хозяйствах и на ремонтных предприятиях для обработки информации о надежности тракторов и сельскохозяйственных машин не только затруднено, но и нецелесообразно, так как их точность превышает точность входной информации.

Рекомендуемые ниже методы обработки информации просты и надежны.

В нижней части рисунка показана реализация опытных данных по 27 шкивом за межремонтный срок службы двигателя.

Общая схема математической обработки опытной информации о показателях надежности и последовательность выполнения отдельных этапов расчета применительно к информации об износе рабочей поверхности под сальник шкива коленчатого вала двигателя А-ОТ и эластичного зуба дискообразного съёмника хлопкоуборочной машины «Кейс-2022» показаны на рис. 5.18 и 5.19.

Так как коэффициент вариации V равен 0,002, то нами для аппроксимации исследуемого процесса был выбран нормальный закон распределения. Для оценки параметров t_{cm} , $f(m_i)$, m_i^* и $F_{on}(x_i)$ были использованы следующие формулы:

$$t_{cm} = t_{min} - 0,6 \frac{X_{max} - X_{min}}{\sqrt{N}} \text{ мм}, \quad (5.47)$$

$$f(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}\right)^2} \text{ мм}; \quad (5.48)$$

$$f_{on}^T(x_i) = \frac{X_{max} - X_{min}}{\sqrt{N}} f(x_i); \quad (5.49)$$

$$m_i^* = P_{on}^T(x_i) N; \quad (5.50)$$

$$F_{on}(x_i) = 1 - P_{on}(x_i), \quad (5.51)$$

где t_{min} – минимальное значение вариационного ряда;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое вариационного ряда;

σ – среднее квадратическое отклонение;

N – общее число статистической информации.

В результате расчета получены: $\bar{x} = 74,24$ мм; $\sigma = 0,095$ мм; $V = 0,0012$;

$\bar{x} \pm 1 \cdot (99,46\%) = 74,375 : 74,195$ мм; $\bar{x} \pm 2 \cdot (95,46\%) = 74,10 : 74,48$ мм; $\bar{x} \pm 3\sigma (68,26\%) = 74,005 : 74,575$ мм.

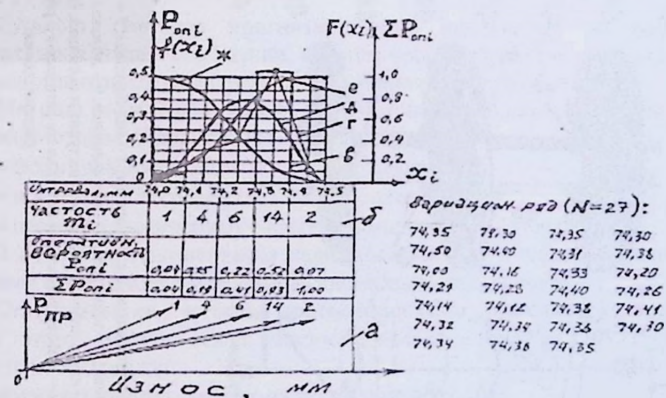


Рис. 5.18. Схема обработки информации о показателях надежности: a – распределение первичной информации; b – статистический (вариационный) ряд информации; a – гистограмма; e – полигон распределения; d – дифференциальная функция теоретического закона распределения; e – кривая накопленных вероятностей; $ж$ – функция закона распределения.

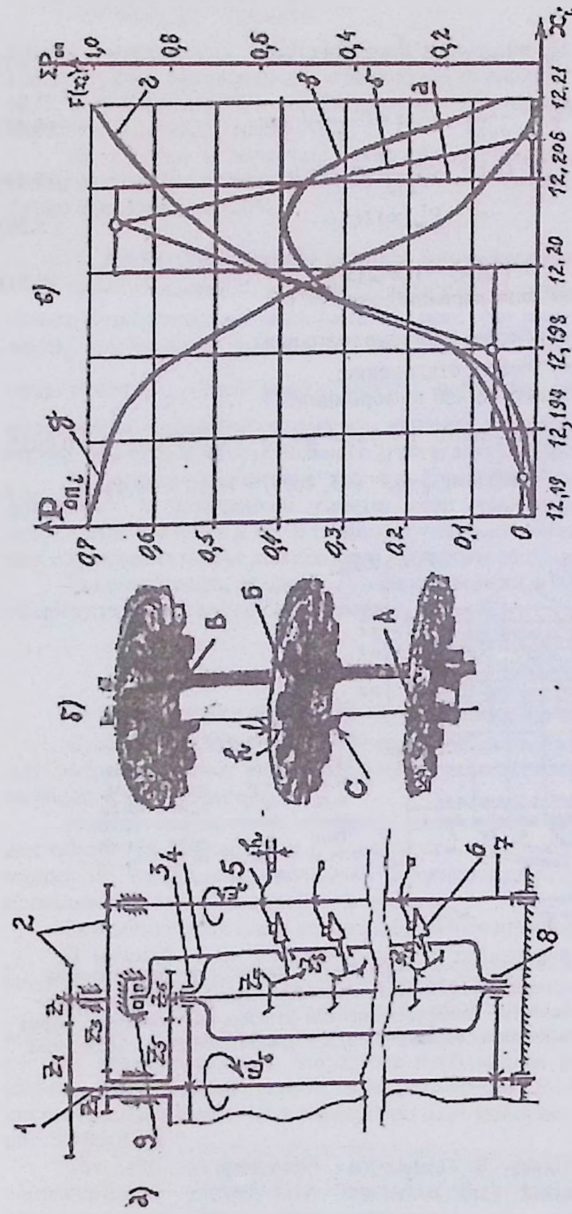


Рис. 5.19. Схема горизонтально-шпиндельного аппарата: (а) 1 – вал барабана; 2 – приводные шестерни; 3 – верхние и нижние подшипники кассет; 4 – кассета; 5 – дискообразный съёмник; 6 – шпиндель; 7 – шлицы; 8 – дорожка кулачкового механизма; (б) – основные дефекты съёмника: А – поломка зуба; Б – износ зуба; В и С – износ рабочей поверхности ступицы съёмника; (в) – результаты математической обработки опытных данных: а – гистограмма; б – полигон; в – дифференциальная функция теоретического распределения; г – сумма вероятностей; д – интегральная функция распределения.

5.9.16. Прогнозирование надежности машин

Оценки надежности, полученные по результатам испытаний и наблюдений в эксплуатации, носят, как правило, характер констатации фактического состояния машины в целом или её отдельных элементов. В ряде случаев такие оценки приобретают прогнозирующий характер. Это происходит, если например, на основании результатов выборочных испытаний делается прогноз о надежности партий изделий в эксплуатации.

Современные методы прогнозирования могут быть разделены на три основные группы:

- методы экспертных оценок;
- методы моделирования, включающие физические, физико-математические и информационные модели;
- статистические методы прогнозирования, основанные на интерполяции или экстраполяции данных, полученных в результате предварительных исследований.

В зависимости от длительности прогнозируемого периода различают прогнозы; краткосрочные до 5 лет, среднесрочные 5-15 лет, долгосрочные свыше 15 лет.

Сущность методов прогнозирования, основанная на экспертных оценках, заключается в обобщении, статистической обработке и анализе мнений специалистов относительно перспектив развития данной области.

Методы моделирования базируются на основных положениях теории подобия. Метод моделирования состоит из трех этапов:

- формирования модели объекта исследования;
- проведение экспериментальных исследований;
- пересчета полученных значений с модели на натурный объект.

В основу прогнозирования надежности машин и элементов могут быть положены физические и математические методы моделирования.

Статистические методы прогнозирования. Метод *экстраполяции*. В основе этого метода лежат закономерности изменения прогнозируемых параметров во времени.

Прогнозирование состоит из нескольких этапов:

- анализ исходных данных и построение графика иллюстрирующего изменение прогнозируемого параметра во времени;
- определение аналитического выражения (математической модели), описывающего закономерность изменения прогнозируемого параметра;
- экстраполяция полученного уравнения и прогнозирование надежности на заданный период.

После построения графиков, отражающих связь (корреляцию) между переменными, подбирают аналитическую функцию. Подбор функции составляет важную часть прогнозирования. Нужно стремиться по возможности подбирать простые аналитические функции с минимальным числом переменных.

Существуют ряд методов определения параметров эмпирических формул.

1. Метод выбранных точек. Пусть в результате наблюдений получена система опытных данных: $M_i(x_i, y_i)$ при $i = 1, 2, \dots, n$. Необходимо определить параметры функции $y = \alpha(x, a_1, a_2, \dots, a_m)$.

На координатную плоскость xOy наносят точки и проводят плавную кривую по возможности примыкающую к точкам M_i . На кривой выбирают систему M (по числу параметров) точек с координатами $\bar{x}_j$ и $\bar{y}_j$ при $j = 1, 2, \dots, m$. Выбранные точки должны быть равномерно распределены по всей кривой. Для удобства обычно берут абсциссы $\bar{x}_j$ этих точек совпадающие с крупными делениями оси Ox координатной сетки. Далее измеряют ординаты выбранных точек $\bar{y}_j$. Параметры $a_1, a_2, \dots, a_m$ в общем случае определяют из системы m уравнений при $j = 1, 2, \dots, m$:

$$\bar{y}_j = \alpha(\bar{x}_j, a_1, a_2, \dots, a_m). \quad (5.52)$$

Для определения параметров линейной зависимости решают систему уравнений:

$$\bar{y}_1 = a_0 \bar{x}_1 + a_1;$$

$$\bar{y}_2 = a_0 \bar{x}_2 + a_1.$$

Для случая квадратичной зависимости $y = a_0 x^2 + a_1 x + a_2$ коэффициенты a , b и c определяют из системы трех уравнений:

$$\bar{y}_1 = a_0 \bar{x}_1^2 + a_1 \bar{x}_1 + a_2;$$

$$\bar{y}_2 = a_0 \bar{x}_2^2 + a_1 \bar{x}_2 + a_2;$$

$$\bar{y}_3 = a_0 \bar{x}_3^2 + a_1 \bar{x}_3 + a_2.$$

Метод выбранных точек является весьма простым и наглядным, но обладает малой точностью.

2. Метод средних. Если нанести на график экспериментальные точки и провести осредняющую кривую (рис. 5.20), то координаты ряда экспериментальных точек при $i = 1, 2, \dots, n$ будут отличаться от соответствующих точек кривой:

$$\varphi = (x_i, a_1, a_2, \dots, a_m) - y_i = \varepsilon_i. \quad (5.53)$$

Если взять ординаты точек, лежащих выше кривой, со знаком «плюс» а ординаты точек под кривой со знаком «минус», то для наилучшего положения кривой будет справедливо выражение:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = 0.$$

Для определения параметров функции $a_1, a_2, \dots, a_m$ по методу средних все отклонения ε разбивают на m групп, содержащих примерно одинаковое число отклонений, входящих в каждую группу, получим систему m уравнений. Решение системы даёт искомые параметры $a_1, a_2, \dots, a_m$ уравнения $y = \varphi(x)$.

Если аналитическое выражение, полученное одним из приведенных методов недостаточно точно описывает, исследуемую зависимость, то тогда уточняют методом наименьших квадратов.

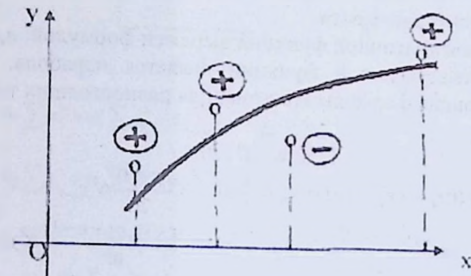


Рис. 5.20. Построение осредненной кривой по экспериментальным значениям.

3. Метод наименьших квадратов. Если все значения функции $y_1, y_2, \dots, y_n$ определены с одинаковой точностью, то оценку параметров $a_1, a_2, \dots, a_m$ находят, исходя из условия, что сумма квадратов отклонений измеренных значений y_i от расчетных $\varphi = (x_i, a_1, a_2, \dots, a_m)$, то есть величина:

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - \varphi(x_i, a_1, a_2, \dots, a_m)]^2 \quad (5.54)$$

принимает наименьшее значение.

Если измерения выполнены с различной точностью то оценки параметров $a_1, a_2, \dots, a_m$ определяют из условия:

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - \varphi(x_i, a_1, a_2, \dots, a_m)]^2 \omega_i,$$

где ω_i — весовые коэффициенты измерений,

$$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n = \frac{1}{\sigma_1^2}, \frac{1}{\sigma_2^2}, \dots, \frac{1}{\sigma_n^2}, \quad \sigma^2 - \text{дисперсии оценок.}$$

Для нахождения значений параметров $a_1, a_2, \dots, a_m$, определяющих минимум функции $S = \Psi(a_1, a_2, \dots, a_m)$, решается система уравнений:

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = 0, \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0, \dots, \frac{\partial S}{\partial a_m} = 0.$$

При прогнозировании надежности сельскохозяйственной техники и их элементов, наиболее часто используют такие зависимости, как линейная и квадратичная функция.

Общий вид линейной функции выражен формулой:

$$y = a_0 + a_1 x, \quad (5.55)$$

где a_0, a_1 — постоянные коэффициенты.

Коэффициент a_1 определяет угол наклона прямой к оси абсцисс. Для нахождения значения a_1 используют выражение: $a_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x}$.

Экстраполяцию выполняют по интерполяционной формуле:

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{h}(x - x_0),$$

где h — шаг изменения аргумента.

Общий вид квадратичной функции выражен формулой: $a_1 x^2 + a_2 x + a_3$.

Графиком квадратичной функции является парабола. Экстраполяцию выполняют с помощью формулы Ньютона для равностоящих точек:

$$x_t = x_0 + th;$$

$$N(x) = (x_n = th) = y_n + \frac{t}{1!} \Delta y_{n-1} + \frac{t(t-1)}{2!} \Delta^2 y_{n-2} + \dots +$$

$$+ \frac{t(t-1)\dots(t-K+1)}{K!} \Delta^K y_{n-K} + \dots + \frac{t(t-1)\dots(t-n+1)}{n!} \Delta^n y_0,$$

где Δ^k — разность K -го порядка при $K = 1, 2, \dots, n$:

$$\Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_{i+1} - \Delta^{k-1} y_i; \quad t = \frac{x - x_n}{h} > 0; \quad x > x_n.$$

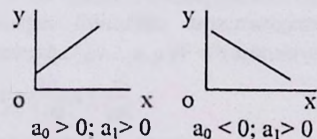
Ошибка в определении $f(x)$ не должна превышать:

$$\sigma = h^{n+1} \frac{t(t+1)\dots(t+n)}{(n+1)!}, \quad (5.56)$$

где M — максимум абсолютной величины $(n+1)$ -ой производной функции $f(x)$ внутри интервала (x_0, x_n) .

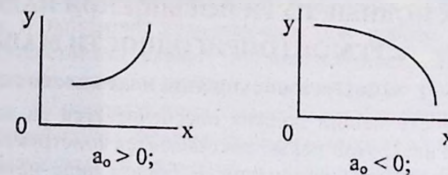
Ниже приведены основные аналитические зависимости, наиболее часто используемые при прогнозировании надежности сельскохозяйственной техники и их элементов, а также формулы определения постоянных параметров функций.

$$y = ax_0 + a_1;$$



$$a_0 = \frac{h \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{h \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad a_1 = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{h \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}.$$

$$y = a_0 x^2 + a_1 x + a_2;$$

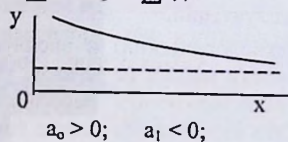


$$a_0 \sum x_i^4 + a_1 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i;$$

$$a_0 \sum x_i^3 + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i = \sum x_i y_i;$$

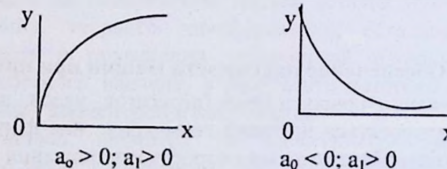
$$a_0 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i + a_2 n = \sum y_i;$$

$$y = \frac{a_0}{x} + a_1;$$



$$a_0 = \frac{n \sum \frac{y_i}{x_i} - \sum y_i \sum \frac{1}{x_i}}{n \sum \frac{1}{x_i^2} - (\sum \frac{1}{x_i})^2}; \quad a_1 = \frac{\sum \frac{y_i}{x_i^2} \sum y_i - \sum \frac{1}{x_i} \sum \frac{y_i}{x_i}}{n \sum \frac{1}{x_i^2} - (\sum \frac{1}{x_i})^2}.$$

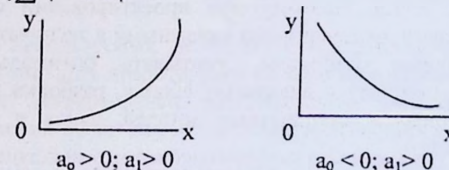
$$y = a_0 x^{a_1};$$



$$\sum y_i x_i^{a_1} - \sum a_0 x_i^{2a_1} = 0; \quad \sum y_i x_i^{a_1} = 0;$$

$$x \ln x - a_1 \sum x_i^{2a_1} + \ln x_i = 0.$$

$$y = a_0 e^{a_1 x};$$



$$\sum y_i e^{a_1 x_i} - a_0 \sum e^{2a_1 x_i} = 0;$$

$$\sum y_i x_i e^{a_1 x_i} - \sum a_0 x_i e^{2a_1 x_i} = 0.$$

6. ОСНОВНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ МАШИН

6.1. Пути повышения надежности машин

Надежность машин должна обеспечиваться на всех стадиях создания и эксплуатации их. С этой целью составляются конструктивные, технологические и эксплуатационные мероприятия. В общем виде названные факторы можно представить следующим образом [49]:

$$H_n = H_{пр} \geq H_z; \quad H_n^{\leq} H_{пр} \geq H_z, \quad (5.57)$$

где H_n – надежность при проектировании;

$H_{пр}$ – производственный уровень надежности;

H_z – надежность при эксплуатации.

Производственный (технологический) и эксплуатационный (каждый в отдельности) уровни надежности машин (агрегатов, узлов, деталей) являются многозначными, то есть характеризуются рассеиванием – значительными колебаниями по величине. Это наблюдается даже в том случае, когда машины (агрегаты, узлы, детали) одной марки эксплуатируются в одинаковых условиях. Естественно, уровень надежности будет большим или меньшим, если имеются различия в условиях эксплуатации. Поэтому на каждом этапе, начиная с проектирования и кончая ремонтом машин (агрегатов, узлов, деталей), необходимо осуществлять конкретные мероприятия по повышению их надежности.

6.2. Обеспечение надежности машин при проектировании

При создании новых машин (агрегатов, узлов, деталей) проектировщик должен ориентироваться на такие геометрические формы, размеры деталей и условия их работы, при которых скорость изнашивания будет минимальной.

Существенное влияние на надежность создаваемых машин оказывают оптимизация нагрузки и скорости скольжения деталей, выбор наиболее рациональных посадок в сопряжениях, устройств для смазки трущихся поверхностей и т.д. Поэтому при проектировании следует комплектовать машины деталями, оказавшимися надежными в эксплуатации, применять новые и прогрессивные материалы, учитывать оптимальную технологичность конструкции, простоту и дешевизну сборки, разборки и ремонта, применение унифицированных и стандартных деталей, узлов и механизмов, снижение балансовых работ.

Доступность частей и деталей машины для осмотра, контроля, ремонта или замены являются важным условием поддержания надежности в период эксплуатации. С целью повышения межремонтного ресурса машины следует предусматривать, такие агрегаты, узлы и детали, которые бы имели оптимальную долговечность, а ремонтные операции сводились к замене недолговечных, недорогих узлов и деталей с минимальной затратой времени

на их демонтаж и монтаж. Особое внимание следует обращать на локализацию динамических нагрузок и вибраций, возникающих при работе агрегатов и машин, так как они существенно влияют на интенсивность изнашивания, прочность и непредвиденные поломки деталей. Немаловажную роль играет их правильное сочетание в сопряжениях, поэтому необходимо подбирать материалы трущихся деталей таким образом, чтобы изнашиванию подвергались в основном наиболее дешевые и простые в изготовлении детали. При проектировании новых сложных машин конструкторам и ученым необходимо обращать особое внимание на обеспечение ремонтной пригодности наиболее нагруженных конструктивных элементов.

6.3. Технологические (производственные) методы повышения надежности машин

Технологические методы повышения надежности машин заключаются, в первую очередь, в применении для изготовления деталей материалов с улучшенными свойствами, полученными в процессе отливки, сварки, обработки давлением и механическим путем. Поэтому немаловажными в повышении надежности являются выбор материала и качества выполнения всех последующих операций.

Повышение надежности деталей машин при их изготовлении осуществляется и путем применения различных методов химико-термической обработки, которые позволяют повысить прочность углеродистых сталей в два, а легированных – в три раза. В последнее время широко применяется нанесение износостойких материалов на поверхности трения деталей путем наплавки, напыления, хромирования, твердого никелирования, оставления и т.д. Большое распространение в повышении усталостной прочности деталей получил метод поверхностного наклепа, в результате которого значительно снижается влияние вредных концентраторов напряжений.

Большинство металлов, несмотря на значительную механическую прочность, сравнительно легко разрушаются под влиянием внешней среды – воздуха, воды, различных растворов, кислот, щелочей, солей и т.д.

При этом наиболее экономически эффективным является разработка устройств для покрытия новых и изношенных деталей с помощью плазменно-дуговой наплавки.

Детали машин, используемых в сельском хозяйстве, подвержены различным видам коррозии. Для предотвращения коррозии на их поверхность наносят гальванические, лакокрасочные, пластмассовые, эмалевые и другие покрытия. При изготовлении особо важных деталей работающих в агрессивной среде, используются специальные антикоррозионные стали.

Большое значение на надежность деталей, узлов и агрегатов оказывает также статическая и динамическая балансировка. Известно, что увеличение дисбаланса вызывает резкое повышение износа.

6.4. Эксплуатационные мероприятия по повышению надежности машин

Постоянная забота эксплуатационников — организация эффективного использования техники. Одним из важнейших условий для достижения этого является высокое качество и постоянное совершенствование, поставляемых сельскому хозяйству машин и запасных частей к ним.

Как правило, машина (агрегат), созданная проектировщиками, технологами и заводскими рабочими сдается в эксплуатацию с достаточно высоким уровнем надежности. Однако ее эффективное использование, как бы хорошо она не была сконструирована и изготовлена, окажется возможным только при хорошем уходе и нормальном режиме работы. Поэтому правильно организованный процесс эксплуатации в значительной степени влияет на увеличение надежности машин. Сюда же следует отнести и организационно-технические мероприятия, способствующие реализации системы технического обслуживания машинно-тракторного парка, за счет специализированных звеньев мастеров-наладчиков.

Немаловажным является осуществление систематического наблюдения за износом сопряженных деталей, для которого используются средства технической диагностики. Для обеспечения и сохранения надежности сельскохозяйственной техники большое значение имеет правильная организация её хранения, а также хранение горюче-смазочных материалов. Делается это с целью сокращения производительных простоев машин и расходов на их ремонт и эксплуатацию.

И, наконец, весьма эффективным в продлении ресурса машин является соблюдение оптимальных режимов эксплуатации, исключающих перегрузку агрегатов и механизмов.

Доремонтные, межремонтные и полные ресурсы машин и их элементов характеризуются большим рассеиванием, вследствие чего, ресурс каждой машины или агрегата отличается от ресурса другой машины или агрегата той же марки. Поэтому для повышения коэффициента использования надежности машин необходимо высококачественно проводить сезонное техническое обслуживание, в процессе которого выполняют безразборную диагностику и оценивают техническое состояние узлов и агрегатов машины, определяют величину их остаточного ресурса и срок наступления предельного состояния и ремонта.

6.5. Повышение надежности машин при ремонте

Сопряженная пара, как правило, состоит из различных материалов, так как потери от трения значительно меньше при разных материалах, чем при одинаковых. Если же учесть и разнообразие эксплуатационных условий, то станет ясно, что разница в ресурсе различных деталей, узлов, агрегатов может быть весьма существенной. Кроме того, следует отметить, что современные тракторы, автомобили и другие сельскохозяйственные машины сложны. Создание для них комплектующих деталей с одинаковым ресурсом — задача

большой сложности. Поэтому разный ресурс деталей, узлов и агрегатов создает экономические предпосылки для использования их остаточного ресурса за счет ремонта или восстановления изношенных деталей.

Эффективность ремонта машин обуславливается затратами, связанными с реализацией долговечности всех деталей, которые закладывают машинистроители. Ремонтную службу нужно рассматривать как резерв увеличения производства машин с меньшими общественными затратами, что позволяет повысить темпы развития агропромышленного комплекса.

Повышение качества ремонта во многом зависит от хорошей отработки организации и технологических процессов ремонта.

К перспективным организациям ремонта относятся:

- **Агрегатно-узловой метод ремонта**, при котором вместо экономически нецелесообразного полнокомплексного ремонта машины в целом ремонтируют ее отдельные узлы и агрегаты на базе обменного фонда. При этом ремонт узлов и агрегатов необходимо выполнять на крупных специализированных ремонтных предприятиях, не обезличивая основные детали и сопряжения.

- **Устранение эксплуатируемых отказов (текущий ремонт)** сельскохозяйственных машин в хозяйствах на базе обменного фонда узлов и деталей. Работоспособные узлы и детали получают со склада хозяйства и устанавливают на машину, а работоспособность снятых с машины агрегатов, узлов и деталей восстанавливают в мастерских хозяйствах или в альтернативных машинно-тракторных парках, с последующей передачей их на склад в качестве обменного фонда.

7. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА

7.1. Общие положения

Для эффективного исследования свойств изучаемого объекта необходимо найти эффективный план эксперимента. Показатель эффективности является выходом исследуемого процесса и называется параметром оптимизации. На параметр оптимизации влияет ряд внутренних и внешних факторов.

К внешним факторам относятся механические, климатические, время действия и т.д. К внутренним факторам относятся номинальные значения и разброс параметров элементов, варианты схемотехнических решений, масса, режим работы и т.п.

Задача сводится к тому, чтобы выявить какие внешние и внутренние факторы оказывают существенное влияние на параметр оптимизации, какова степень этого влияния. Необходимо найти зависимость этого параметра оптимизации от всех существенных факторов (найти модель). Далее, эта модель исследуется с целью поиска такого сочетания факторов и таких численных значений их уровней, которые давали бы наименьшие (или наибольшие) значения обобщенного параметра оптимизации. Таким образом, надо планировать и обрабатывать эксперимент не только для поиска неизвестной вначале модели, но и для нахождения оптимальной схемы, конструкции, технологического процесса. При этом характерной особенностью многофакторного эксперимента является совместное, а не раздельное, действие факторов.

При постановке факторного эксперимента большое внимание должно быть уделено выбору модели, например:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k),$$

где Y – обобщенный показатель, характеризующий эффективность исследуемой системы или технологического процесса, позволяющий проводить оптимизацию; экстримум соответствует оптимальной системе;

$X_1, X_2, \dots, X_k$ – факторы (внешние и внутренние), которые влияют на значение функции Y и принимают оптимальные значения при экстримуме Y .

Задача эксперимента состоит в том, чтобы определить численные значения коэффициентов этого уравнения. Обычно функцию, как и в регрессионном анализе, выбирают в виде степенного ряда, точнее отрезков степенных рядов алгебраических полиномов. Необходимая степень полинома устанавливается на основании априорных сведений. Модель должна быть достаточно точной, т.е. близкой к фактической зависимости и простой.

Измерение величин (факторов и показателей) при проведении эксперимента в сельскохозяйственном производстве желательно проводить электроприборами.

Определение необходимого числа повторностей опытов производят, исходя из заданной доверительной вероятности, зная которую, находят доверительный интервал ϵ . Для определения доверительного интервала единичного Y_k и среднего $\bar{Y}$ результатов измерения значений показателя используется критерий Стьюдента $t(P; R)$, где P – доверительная вероятность, R – число степеней свободы, определяемое числом повторностей опытов минус единица. Таким образом,

$$\epsilon(Y_k) = t(P; R) S(Y_k);$$

$$\epsilon(\bar{Y}) = t(P; R) S(\bar{Y}),$$

где σ – среднеквадратическое отклонение случайной величины Y .

Ниже показано применение многофакторного эксперимента на конкретном примере при исследовании конструктивных параметров рабочих органов чизельного плуга [99].

7.2. Исследование конструктивных параметров рабочих органов чизельного плуга методом активного планирования эксперимента

В настоящее время у нас в стране большое внимание уделяется созданию чизельных плугов для основной обработки почвы на глубину до 40 см. Интерес к этим орудиям обусловлен тем, что они менее энергоемки, просты по конструкции и отличаются высокой производительностью. Качественные и энергетические показатели глубокого рыхления почвы зависят от параметров чизельного рабочего органа, поэтому необходимо их уточнение.

Для определения закономерностей изменения качественных и энергетических показателей глубокого рыхления были спроектированы универсальный рабочий орган чизельного плуга и полевая динамометрическая установка для измерения его силовых характеристик.

Опыты проводились на темно-сероземных почвах. Средняя влажность и твердость почвы на горизонте 0...40 см, соответственно составляла 17,3% и 3,01 МПа.

Энергетическая оценка различных вариантов рабочих органов производилась по тяговому сопротивлению заглубляющей способности и удельной энергоемкости. Все варианты рабочих органов испытывались при глубине обработки 40 см (установочная) и поступательной скорости 1,47 м/с.

За основу проведения экспериментальных исследований был принят метод активного планирования эксперимента, который позволяет проводить испытания с минимальным числом опытов при достаточной точности полученных результатов, а также контролировать и управлять экспериментом (Мельников С.В. и др. 1980, Налимов В.В. и Чернова Н.А. 1965, Адлер Ю.П. и др. 1976).

При выборе параметров оптимизации учитываем, что основным требованием при глубоком рыхлении, является снижение энергоемкости процесса. При этом, немаловажным параметром является сохранение орудием

заданной глубины обработки, так как пропорционально заглублению плуга ниже установочной глубины обработки растет вероятность работы рабочих органов ниже своей критической глубины резания, а при его выглублении снижаются агротехнические показатели глубокого рыхления. Поэтому параметр оптимизации должен характеризоваться по удельному тяговому сопротивлению рабочего органа и отклонением угла наклона равнодействующей сил сопротивления почвы.

На основе априорного исследования и анализа рабочих органов чизельного плуга, для экспериментов были выбраны следующие факторы:

- X_1 – ширина захвата наральника – B_n (мм);
- X_2 – угол резания наральника – β (град);
- X_3 – угол наклона стойки рабочего органа – α (град).

Руководствуясь априорным анализом информации установлены следующие интервалы варьирования и основные уровни факторов (табл. 7.1)

Таблица 7.1.

Интервалы варьирования и основные уровни факторов

Факторы	X_1 (мм)	X_2 (град)	X_3 (град)
Основной уровень	80	30	67,5
Интервал варьирования	30	5	22,5
Нижний уровень	50	25	45
Верхний уровень	110	35	90

Отсеивающие эксперименты

Построение матрицы и точечной диаграммы отсеивающих экспериментов по удельному тяговому сопротивлению

Для проведения полного факторного эксперимента (ПФЭ) с шестью факторами на двух уровнях нужно провести $2^6 = 64$ опыта. Для сокращения последующего числа опытов необходимо провести предварительные эксперименты по определению значимости факторов с целью исключения малозначимых факторов. Для отсеивания небольшого числа значимых эффектов на шумовом поле эффективен метод случайного баланса (Мельников С.В. и др. 1980; Налимов В.В. и Чернова Н.А., 1985). При числе факторов $n=3$ построение матрицы случайного баланса целесообразно осуществлять путем распределения уровней факторов по столбцам матрицы случайным образом при помощи таблиц случайных чисел. Количество опытов в матрице отсеивающих экспериментов должно превышать число $n+1$. Это условие значительно улучшает анализ результатов опыта (Мельников С.В. и др. 1980). С учетом этих

требований принимаем $n=8$ и строим матрицу отсеивающих экспериментов (табл. 7.3).

Для анализа результатов отсеивающих экспериментов строим диаграммы рассеяния (рис. 7.1). Для этого по оси абсцисс наносим все факторы с их уровнями, а по оси ординат – опытные значения критерия оптимизации. Каждый фактор рассматривается независимо от других и точки в соответствии с уровнем фактора (+) или (-), подразделяются на две группы. Величину степени влияния того или иного фактора оцениваем визуально по величине разности между средними значениями критерия оптимизации, вычисленными раздельно для каждого уровня фактора.

В качестве среднего значения критерия оптимизации для одного уровня принимается медиана (Мельников С.В. и др. 1980; Адлер Ю.П. и др. 1976). Для оценки степени влияния фактора учитывается также количество «выделяющихся точек». Из рис. 7.1 определим, что факторы X_1 , X_2 , X_3 соответственно имеют 8, 4 и 2 выделяющихся точек. Эффекты факторов количественно оцениваются с помощью таблиц с несколькими входами. В клетках записываются оцениваемые факторы с уровнями варьирования и результаты опытов. Для нашего случая из-за недостатка опытов можно построить таблицу с двумя входами. При двух входах одновременно оцениваются только два фактора X_1 и X_2 (табл. 7.2).

Таблица 7.2.

Таблица с двумя входами для вычисления эффектов факторов X_1 и X_2

Оцениваемые факторы	$+X_1$	$-X_1$
$+X_2$	6.56 6.92 $\sum Y_i = 13,48$ $\bar{Y}_1 = 6,74$	11.21 10.48 $\sum Y_i = 21,69$ $\bar{Y}_2 = 10,84$
$-X_2$	6.09 5.74 $\sum Y_i = 11,83$ $\bar{Y}_3 = 5,91$	8.52 7.69 $\sum Y_i = 16,21$ $\bar{Y}_4 = 8,11$

В клетках этой таблицы записаны результаты экспериментов, распределенные по различным комбинациям уровней факторов. В каждой клетке подсчитываются средние значения критерия оптимизации $\bar{Y}_i$.

Величина эффекта факторов X_i подсчитывается по формуле:

$$X_i = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_3 + \dots + \bar{Y}_n}{k_i} - \frac{\bar{Y}_2 + \bar{Y}_4 + \dots + \bar{Y}_{n+1}}{k_i}, \quad (7.1)$$

где $\bar{Y}_1, \bar{Y}_3, \dots, \bar{Y}_n$ – средние значения критерия оптимизации в каждой клетке таблицы для уровня фактора (+);

$\bar{Y}_2, \bar{Y}_4, \dots, \bar{Y}_{n+1}$ – средние значения критерия оптимизации в

соответствующей клетке для уровня фактора (-);
 k_i – число средних значений критерия оптимизации Уп.

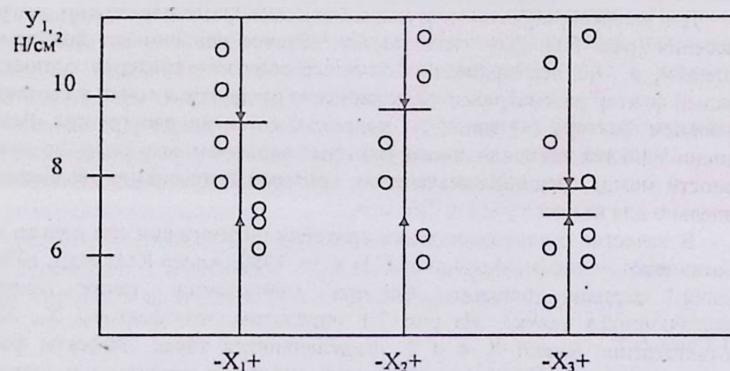


Рис. 7.1. Диаграмма рассеяния результатов наблюдений по уровням факторов.

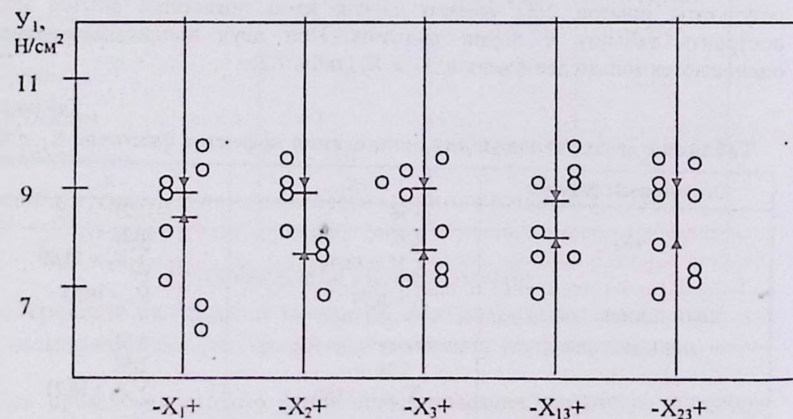


Рис. 7.2. Корректированная диаграмма рассеяния.

Для выделенных факторов X_1 и X_2 эффекты будут:

$$X_1 = \frac{6.74+5.91}{2} - \frac{10.84+8.11}{2} = 3.14 ;$$

$$X_2 = \frac{6.74+10.84}{2} - \frac{5.91+8.11}{2} = 1.78.$$

После расчета эффектов выделенных факторов проверим их значимость по t – критерию. t – критерий для какого либо фактора определяется по формуле:

$$t = \frac{(\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \dots + \bar{Y}_n) - (Y_2 + Y_4 + \dots + Y_{n+1})}{S_r \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}}, \quad (7.2)$$

$$S_r \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}$$

где S_r – среднеквадратическая ошибка, характеризующая рассеяние относительно средних в клетках таблицы с несколькими входами, определяется по формуле:

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}$$

где n_i – число наблюдений в i –й клетке таблицы с несколькими входами.

Таблица 7.3.

Матрица отсеивающего эксперимента

№	Факторы и их взаимодействия								Удельное тяговое сопротивление				Отклонение угла			
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁₂	X ₁₃	X ₂₃	X ₁₂₃	$\bar{Y}_n$	Y _{1u}	Y _{2u}	Y _{3u}	$\bar{Y}_e^f$	Y _{1u}	Y _{2u}	Y _{3u}
1	+	+	+	+	+	+	+	+	6,56	6,67	6,45	6,56	27,5	26,5	29,0	27,0
2	+	+	+	+	+	+	+	+	6,92	7,11	6,71	6,95	19,7	16,8	29,8	19,5
3	+	+	+	+	+	+	+	+	11,2	11,6	11,6	10,2	12,8	12,1	12,9	13,4
4	+	+	+	+	+	+	+	+	8,52	8,54	8,70	8,32	24,3	23,1	26,6	23,2
5	+	+	+	+	+	+	+	+	6,09	6,12	6,06	6,10	27,2	27,3	28,0	26,2
6	+	+	+	+	+	+	+	+	5,74	5,60	5,78	5,84	40,3	42,6	39,0	39,3
7	+	+	+	+	+	+	+	+	10,4	9,83	11,1	8,70	9,30	8,20	10,3	9,45
8	+	+	+	+	+	+	+	+	7,69	7,98	7,40	7,69	24,4	24,7	25,2	23,4

Значение t-критерия для факторов X₁ и X₂ будет

$$t_{x_1} = \frac{(Y_1 + Y_2) - (Y_3 - Y_4)}{S_r \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}} = \frac{3,75}{0,55 \cdot 1,44} = 4,832;$$

$$t_{x_2} = \frac{(Y_1 + Y_3) - (Y_2 + Y_4)}{S_r \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}} = \frac{-6,3}{0,55 \cdot 1,44} = 8,119.$$

Результаты расчета t-критерия отсеивающих экспериментов приведены в табл. 7.4. При значимости фактора вычисленное значение t-критерия должно быть больше табличного. Значение t-критерия выбирается в таблице в зависимости от заданного уровня значимости и числа степеней свободы, (Мельников С.В и др.1980). Число степеней свободы f, связанное с S_r, определяется по формуле

$$R = \sum n_i - K,$$

где K – число клеток вспомогательной таблицы.

Для рассматриваемого случая t-критерия при числе степеней свободы f = $\sum n_i - 4 = 4$ и 5%-ном уровне значимости t_{0.05} = 2.776. Таким образом, факторы X₁ и X₂ оказались значимыми с вероятностью 0.95.

Таблица 7.4.

Таблица для расчета t-критерия при определении значимости факторов

Оцениваемые факторы и взаимодействия	№ клет-ки	$\sum Y_i$	$(\sum Y_i)^2$	$\sum Y_i^2$	n _i	S _r ²	$\frac{S_r^2}{n_i}$
X ₁ , X ₂	1	13.48	181.71	90.92	2	0.07	0.035
	2	21.69	469.55	235.49	2	0.71	0.355
	3	11.83	139.95	70.04	2	0.07	0.035
	4	16.21	262.76	131.73	2	0.35	0.175
X ₃ , X ₁₃	1	12.27	150.05	75.28	2	0.07	0.035
	2	16.26	263.38	132.27	2	0.58	0.290
	3	19.57	382.98	192.05	2	0.56	0.280
	4	11.57	133.86	66.94	2	0.01	0.005

Корректировка результатов отсеивающих экспериментов по удельному тяговому сопротивлению. После выделения эффектов факторов производилась корректировка результатов отсеивающих экспериментов для того, чтобы выделить эффект фактора X₃ и парных взаимодействий. Корректировку

проведем путем прибавления с обратным знаком эффектов выделенных более сильных факторов X_1 и X_2 к результатам отсеивающих экспериментов. Для этого ко всем результатам табл. 7.3 на уровне $(+ X_1)$ прибавляем величину его эффекта с обратным знаком, т.е. $(+3.14)$ и на уровне $(+X_2)$ прибавляем $(- 1.78.)$. Корректированные результаты экспериментов приведены в табл. 7.3.

По полученным результатам строим корректированную диаграмму рассеяния (рис. 7.2), анализируя которую выделяем эффект парных взаимодействий X_{23} , имеющий четыре выделяющихся точки. Предполагая далее, что после количественной оценки эффект X_{23} окажется значимым, проверим значимость парных взаимодействий эффекта X_{13} .

Построив таблицу 7.5 с двумя входами и используя формулу (7.1) получим

$$X_3 = 1.01; X_{13} = - 0.65.$$

Проверка значимости эффектов по t-критерию производилась по аналогии с выше рассмотренным. Подставляя данные табл. 7.4 и 7.5 в формулу (7.2) получим $t_3 = 1.66$; $t_{13} = 2.56$.

Табличное значение t-критерия $t_{95} = 2.776$ и $t_{90} = 2.132$ поэтому эффект X_3 не значим ни при 95, ни при 90% уровнях вероятности, однако эффект X_{13} значим при 90% уровне вероятности. Следовательно, по результатам отсеивающих экспериментов по удельному тяговому сопротивлению эффект X_3 значим при парных взаимодействиях.

Таблица 7.5.

Вычисление эффектов факторов X_3 и X_{13}

Оцениваемые Факторы	$+ X_3$	$- X_3$
$+ X_{13}$	6.18	7.83
	6.09	8.43
	$= 12.27$	$= 16.26$
	$= 6.14$	$= 8.13$
$- X_{13}$	10.31	5.74
	9.26	5.83
	$= 19.57$	$= 11.57$
	$= 9.78$	$= 5.78$

Оценка значимости эффекта X_3 при анализе угла отклонения равнодействующей сил сопротивления почвы. Наряду с определением тягового сопротивления также оценивался угол отклонения равнодействующей сил сопротивления почвы. По первому критерию Y выделены значимость всех трех факторов, по которым проведены дальнейшие исследования. Однако, возможно, что фактор X_3 значимый в первом критерии оптимизации только во взаимодействии с другими факторами, оказывает

существенное влияние на отклонение угла Ψ . Для проверки этого предположения по результатам проведенных опытов (табл. 7.3) построим диаграмму рассеяния (рис. 7.3) с нанесением значений. Наиболее сильно выделяющимися по разности между медианами значений и по числу выделяющихся точек оказались эффекты X_1 и X_2 , а наиболее слабо выделяющимся эффект X_3 . Производим количественную оценку эффектов X_1 и X_2 , для чего строим табл. 7.6 с двумя входами, а для расчета t-критерия строим табл. 7.7.

Проведенный расчет показал, что

$$X_1 = 10.97; X_2 = - 11.722 \\ = 6.85; = - 7.42$$

Следовательно, эффекты факторов X_1 и X_2 значимы при 95% уровне вероятности, так как $t_{\text{табл } 95\%} = 2.447$. Ослабляем влияние указанных эффектов и корректированные значения Y_1 заносим в табл. 7.3. По табл. 7.3 строим корректированную диаграмму рассеяния для эффекта X_3 и его парных взаимодействий (рис. 7.4). После корректировки результатов оцениваем количественно линейный эффект X_3 и один из его эффектов взаимодействия X_{13} по табл. 4.8 с двумя входами:

$$X_3 = - 4.33; X_{13} = - 6.13; \\ = - 1.42; = - 2.29.$$

Так как табличное значение t-критерия при 90% уровне значимости равно 2.132, то эффект X_3 значим только при парных взаимодействиях и оказывает влияние на способность рабочего органа сохранять заданную глубину обработки.

Таблица 7.6.

Вычисление эффектов факторов X_1, X_2

Оцениваемые факторы	$+ X_1$	X_1
$+ X_2$	27.5	12.8
	19.7	9.3
	$= 47.2$	$= 22.1$
	$= 23.6$	11.05
	27.2	24.3
	40.3	24.4
$- X_2$	67.5	$= 48.7$
	$= 33.75$	$= 24.35$

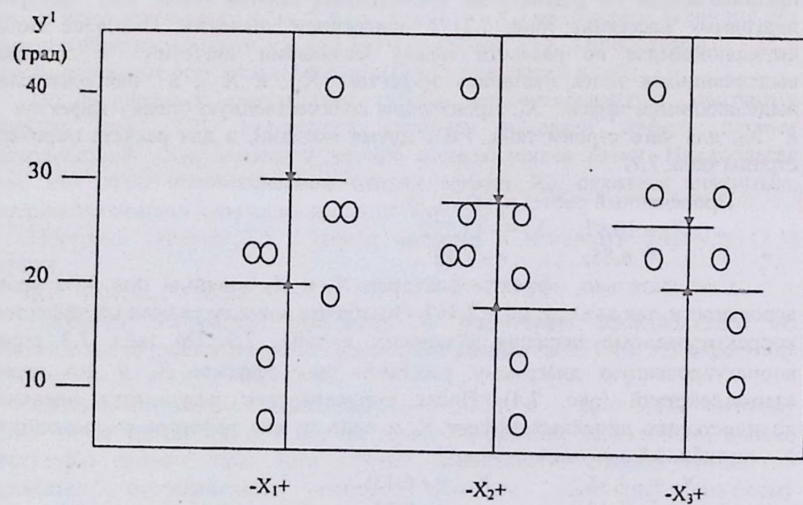


Рис. 7.3. Диаграмма рассеяния результатов наблюдений по уровням факторов.

Таблица для расчета t-критерия при определении значимости факторов и взаимодействий

Оцениваемые факторы и взаимодейс.	№ клетки	$\sum Y_i$	$(\sum Y_i)^2$	$\sum Y_i^2$	n_i	S_r^2	$\frac{S_r^2}{n_i}$	$S_r^2 \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}$
X_1, X_2	1	47.2	2227.8	1146.5	2	32.6	16.3	3.16
	2	22.1	488.3	250.3	2	6.1	3.1	
	3	67.5	4556.3	2363.9	2	85.75	42.9	
	4	48.7	2371.7	1185.9	2	0.1	0.05	
X_3, X_{13}	1	24.96	623.0	339.6	2	28.1	14.1	5.38
	2	57.04	3253.6	1739.3	2	92.5	46.3	
	3	60.64	3677.2	1905.9	2	67.3	33.6	
	4	48.85	2386.3	1143.3	2	50.2	25.1	

Таблица 7.8.

Вычисление эффектов факторов X_3, X_{13}

Оцениваемые факторы	+ X_3	- X_3
+ X_{13}	8.73	36.02
	16.23	21.02
	= 24.96	= 57.04
	= 12.48	= 28.52
	24.52	16.52
- X_{13}	36.12	29.33
	= 60.64	= 45.85
	= 30.32	= 22.93

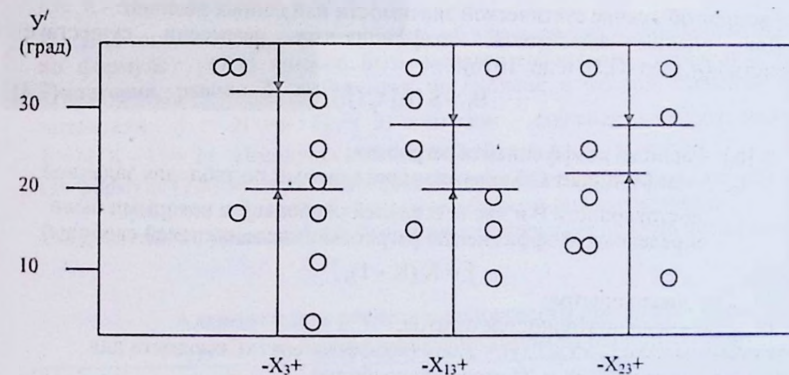


Рис. 7.4. Корректированная диаграмма рассеяния.

Определение направления движения в область оптимума

На первом этапе экспериментов, поставленных по методике оптимального планирования, поверхность отклика описывается линейными уравнениями, либо описываются локальные участки поверхности, и здесь важно знать лишь направление крутого восхождения. Линейное уравнение будет иметь вид:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots \quad (7.3)$$

В этом уравнении коэффициенты регрессии b_1, b_2 характеризует наклоны поверхности в направлении $X_1, X_2 \dots$ и называются линейными эффектами факторов. Когда изменение факторов не дает значительного прироста отклика, начинается следующий этап исследования – описание почти стационарной

области (Налимов В.В. и Чернова Н.А., 1965) уравнениями второго и более порядков, которые характеризуют кривизну поверхности. Определив коэффициенты регрессии уравнения (7.2) мы получим представление о влиянии изучаемых факторов на процесс глубокого рыхления и о методике дальнейшего проведения исследования.

Опыты для определения коэффициентов регрессии ставятся по строгому плану. Для проведения полного факторного эксперимента (ПФЭ) с тремя факторами на двух уровнях необходимо выполнить $2^3 = 8$ опытов. Матрица планирования ПФЭ строится по известной методике (Мельников С.В. и др. 1980; Налимов В.В. и Чернова Н.А., 1965; Адлер Ю.П. и др. 1976) представлена в табл. 7.9.

После определения величины коэффициентов регрессии (табл. 7.9) и составления уравнения, которое в рассматриваемом случае имеет вид:

$$Y = 7,84 - 1,64X_1 + 0,47X_2 + 0,53X_3 - 0,197X_1X_2 - 0,28X_1X_3$$

Встает вопрос об оценке статической значимости найденных величин.

Для оценки значимости коэффициентов регрессии существует неравенство (Адлер Ю.П. и др. 1976):

$$B_i > S [b_i] t_p (f), \quad (7.4)$$

где $S [b_i]$ – ошибка коэффициента регрессии;

t_p – коэффициент Стюдента, определяемый по табл. для заданной достоверности P и числе степеней свободы f , с которыми были определены коэффициенты регрессии (число степеней свободы)

$$f = N (K - 1),$$

где N – число опытов;

K – число повторностей опытов.

Из таблицы находим $t_{95} (24) = 2,064$ (коэффициент Стюдента для уровня достоверности 95% и 24 степеней свободы).

Дисперсия, характеризующая ошибки в определении коэффициента регрессии равно:

$$S [b_i] = \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (7.5)$$

где S – дисперсия, характеризующая ошибку опыта, определяемая по формуле

$$S_y = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{..})^2, \quad (7.6)$$

где $\bar{y}_{..}$ – значение критерия оптимизации в параллельных опытах.

Для удобства все вычисления по оценке адекватности сводятся в одну таблицу-алгоритм (табл. 7.10). По данным, приведенным в табл. 7.10 и с учетом формулы (7.6) дисперсия, характеризующая ошибку опыта, будет равна $= 0,269$. Представляя значения S_y в формулу (7.5), получим

$S [b_i] = 0,1$. По полученным статистическим данным проверяем соответствие коэффициентов регрессии неравенству 7.4, где $S [b_i] t_p (f) = 0,21$. Легко проверить, что значимыми коэффициентами для уровня достоверности 95%

является b_0, b_1, b_2, b_3 и b_{13} . После выделения значимых коэффициентов уравнения регрессии примет вид:

$$Y = 7,84 - 1,64X_1 + 0,47X_2 + 0,53X_3 - 0,28X_1X_3 \quad (7.7)$$

После постановки полного факторного эксперимента, расчета коэффициентов регрессии, ошибки и определения их значимости необходимо проверить принятую гипотезу о линейности системы, то есть гипотезу о том, что отклик может описываться уравнениями без квадратичных членов. Для проверки гипотезы об адекватности представления результатов первой степени вычисляется критерий Фишера (F-критерий) по формуле:

$$F = S_R^2 / S_y^2, \quad (7.8)$$

где S_R^2 – дисперсия неадекватности математической модели, определяемая по формуле:

$$S_R = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}_i^2 - N \sum_{i=1}^n b_i}{N - n - 1},$$

где n – число факторов, $n = 0, 1, 2, \dots$;

Для того, чтобы принять гипотезу об адекватности вычисленное значение F по формуле (7.8) должно быть меньше табличного. Табличное значение F -критерия, равное 3, выбирается по таблице с числом степеней свободы числителя $f = N - n - 1 = 3$ с числом степеней свободы знаменателя $f = N (K - 1) = 24$. Пользуясь таблицей 7.10, находим $S_R^2 = 0,16$.

По формуле (7.8) значение критерия Фишера будет определяться величиной $F = 2,22$, что меньше табличного для 95% уровня вероятности. Следовательно, уравнение (7, 7) адекватно описывает область эксперимента.

Таблица 7.9.

Алгоритм для расчета адекватности представления результатов эксперимента полиномом первой степени

№											
1	7,8	7,64	7,72	8,04	0,16	0,08	0,24	0,0896	60,84	7,24	
2	5,74	5,77	5,71	5,74	0,03	0,03	0	0,0016	32,93	5,43	
3	9,58	9,85	9,47	9,42	0,27	0,11	0,16	0,1106	91,78	10,01	
4	6,14	5,98	6,22	6,22	0,16	0,08	0,08	0,0384	37,70	6,53	
5	9,84	10,03	9,79	9,7	0,19	0,05	0,14	0,0582	96,83	9,78	
6	6,09	6,13	5,86	6,27	0,04	0,23	0,18	0,0869	36,09	6,01	
7	10,74	11,28	10,03	10,92	0,54	0,71	0,18	0,8281	115,4	10,82	
8	6,79	6,20	7,11	7,06	0,59	0,32	0,27	0,5234	46,10	6,68	

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^K (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = 1,7368; \quad \sum_{i=1}^N \bar{y}_i^2 = 518,62$$

Таблица 7.10.

Матрица планирования трехфакторного эксперимента

Обозначения	Факторы и их взаимодействие										
	X ₀	X ₁ мм	X ₂ град	X ₃ Град	X ₁₂	X ₁₃	X ₂₃	Y _n	Y _{1n}	Y _{2n}	Y _{3n}
Основной уровень Интервалы варьирования Нижний уровень -1 Верхний уровень +1 Опыт: 1		80	30	67,5							
		30	5	22,5							
		50	25	45							
		110	35	90							
	+	+	-	-	+	+	+	7,80	7,6	7,7	8,0
	+	+	-	-	-	-	+	5,74	5,77	5,71	5,74
	+	-	+	-	-	+	-	9,53	9,85	9,47	9,42
	+	+	+	-	+	-	-	6,14	5,98	6,22	6,22
Коефф. регрессии	+	-	-	+	+	-	-	9,84	10,0	9,79	9,70
	+	+	-	+	-	+	-	6,09	6,13	5,86	6,27
	+	-	+	+	-	-	+	10,7	11,3	10,0	10,9
	+	+	+	+	+	+	+	6,79	6,20	7,11	7,1
	7,84	1,64	0,47	9,53	-0,19	0,28	-0,07				

Анализ уравнения (7.7) показывает, что наибольшее влияние на удельное тяговое сопротивление оказывает ширина захвата паральника, угол его установки, угол наклона стойки, а также эффекты их взаимодействий. При этом значение выходного параметра снижается с увеличением факторов X₁ и X₁₃ и с уменьшением факторов X₂ и X₃. По знакам и абсолютной величине линейных коэффициентов регрессии можно заключить, что интервалы варьирования факторов выбраны правильно и диапазон их варьирования приблизительно соответствует оптимальной области проведения экспериментов. Следовательно, целесообразно поставить задачу дальнейшего изучения и описания искомой области с помощью уравнения второго порядка, как для установления влияния на удельное сопротивление коэффициентов регрессии при квадратичных членах, так и для отыскания оптимальных условий.

Описание области оптимума с помощью ортогонального центрального композиционного планирования. Так как вид поверхности отклика неизвестен, то для исследования почти стационарной области наиболее подходящим является центральное композиционное рототабельное планирование. В этом планировании ядром плана является полный факторный эксперимент 2³, то есть 3 опытов первого плана планирования эксперимента типа 2³.

Центральные композиционные рототабельные планы состоят, кроме ядра из центральных n₀ звездных точек. Чтобы обеспечить постоянную дисперсию предсказанного значения Y внутри области экспериментирования, необходимо выбрать подходящее число нулевых точек, которое для трехфакторного эксперимента равно 6. При этом увеличивается количество информации в центре плана в области, в которой ее мало. Значение звездного плеча для ядра, содержащего полный факторный план типа 2³, равно $\alpha=2^{1/4}=1,682$, а количество звездных точек в два раза больше числа факторов и равно 6. Таким образом, для построения униформ-рототабельного плана второго порядка при 3-х факторах общее число опытов равно 20.

После определения общего числа точек эксперимента строим рабочую матрицу планирования (табл. 7.11). После реализации эксперимента и получения значений критерия оптимизации проводим обработку данных и построим математическую модель факторов второго порядка, которая имеет вид:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2, \quad (7.9)$$

где b_{ij} – эффекты взаимодействий;
 b_{ii} – эффекты при квадратичных членах.

Расчет коэффициентов регрессии осуществляется по следующим формулам:

$$b_0 = a_1 \sum_{n=1}^N \bar{Y}_n - a_2 \sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^N X_{in} \bar{Y}_n, b_i = a_3 \sum_{n=1}^N X_{in} \bar{Y}_n; \quad (7.10)$$

$$b_{ij} = a_4 \sum_{n=1}^N X_{in} X_{jn} Y_n; i \neq j, i = 1, 2, 3, \dots, n;$$

$$b_{ij} = a_5 \sum_{n=1}^N X_{in}^2 \bar{Y}_n + a_6 \sum_{n=1}^N X_{in} X_{jn} \bar{Y}_n - a_7 \sum_{n=1}^N \bar{Y}_n$$

где $N = 20$ – число опытов;
4 – число повторностей.

Для трех факторов значения коэффициентов:

$$A_1 = 0,1633; A_2 = 0,0568; A_3 = 0,0732; A_4 = 0,125;$$

$$A_5 = 0,0625; A_6 = 0,0069; A_7 = 0,0568.$$

Вычисленные по формулам (4.10) коэффициенты регрессии представлены в табл. 7.12.

Проверка значимости коэффициентов регрессии проведена по критерию Стьюдента, при этом оценки дисперсий коэффициентов регрессии, приведенные в табл. 7.13, определялись по следующим формулам:

$$S_{(a_0)}^2 = \frac{2\lambda^2(n+2)S_y^2}{N}; \quad S_{(a_1)}^2 = \frac{cS_y^2}{N};$$

$$S_{(b_{ij})}^2 = \frac{A[(n+1)\lambda - n - 1]c^2S_y^2}{N}; \quad S_{(b_{ij})}^2 = \frac{C^2S_y^2}{\lambda N}; \quad (7.11)$$

$$\lambda = \frac{N \sum_{n=1}^N X_{in}^2 X_{jn}^2}{\left(\sum_{n=1}^N X_{in}^2\right)^2}; \quad A = \frac{1}{2\lambda[(n+2)\lambda - n]}.$$

Расчетные значения оценок дисперсии приведены в табл. 7.13. Уравнения регрессии после исключений незначимых коэффициентов, имеют следующий вид:

$$Y = 6,3 - 1,12 X_1 + 0,35 X_2 + 0,34 X_3 - 0,2 X_1 X_2 - 0,28 X_1 X_3 + 0,37 X_1^2 + 0,35 X_2^2 + 0,27 X_3^2; \quad (7.12)$$

$$Y = 25,11 + 3,44 X_1 - 4,54 X_2 - 2,07 X_3 - 2,28 X_1 X_3 - 1,4 X_2^2, \quad (7.13)$$

$$\text{где } X_1 = \frac{b_{11}-50}{30}, \text{ мм}; \quad X_2 = \frac{\beta-30}{5}, \text{ (град)}; \quad X_3 = \frac{\alpha-67,5}{22,5}, \text{ (град)}$$

Таблица 7.11.

Значение коэффициентов регрессии второго порядка

Коэф. регр.	B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{13}	B_{23}	B_{11}	B_{22}	B_{33}
$Y, \text{ Н/см}^2$	6,3	-1,12	0,35	0,34	-0,20	-0,28	-0,07	-0,37	0,35	0,27
$Y, \text{ Град}$	25,11	3,44	-4,54	-2,07	0,20	-2,28	0,95	-0,64	-1,40	-0,52

Таблица 7.12.

Расчет адекватности представления результатов эксперимента полиномами второй степени

Уравнение	$S_{\{b_0\}}$	$S_{\{b_1\}}$	$S_{\{b_{11}\}}$	$S_{\{b_{12}\}}$	T_{95}	SS_{LF}	SS_R	SS_E	$F_{расч.}$	$F_{табл.}$
Y	0,1	0,14	0,35	0,14	2,02	3,29	4,40	1,11	2,96	5,1
Y'	3,45	1,09	2,65	1,07	2,02	190,3	269,8	79,48	2,39	5,1

При проверке адекватности представления результатов эксперимента второй степени используем F-критерий Фишера, вычисляемый по формуле

$$F_{расч} = \frac{SS_{LF} / f_{LF}}{SS_E / f_E}, \quad (7.14)$$

где SS_{LF} – сумма квадратов, связанная с дисперсией, определяющей неадекватность представления результатов эксперимента с числом степеней свободы

$$S_{LF} = N - \frac{(n+2)(n+1)}{2} - (n_0 - 1); \quad f_{4F} = 5,$$

$$SS_{LF} = SS_R - SS_E,$$

где SS_R – остаточная дисперсия, характеризующая рассеяние точек относительно найденного уравнения регрессии

$$SS_R = \sum_{n=1}^N (\bar{Y}_n - \hat{Y}_n)^2$$

SS_E – сумма квадратов, определяющая ошибку опыта

$$SS_E = \sum_{n=1}^N (y_{n0} - \bar{Y}_n)^2$$

Расчет адекватности представления результатов экспериментов полиномом второй степени представлен алгоритмом в табл. 7.14 и 7.15. Результаты проверки приведены в табл. 7.13 для 95% уровня значимости при $f_2 = 5$; $f_2 = 5$; $F_{табл} = 5,1$. Полученные значения $F_{расч} < F_{табл}$, следовательно представления можно считать адекватным.

Анализ уравнения регрессии показывает, что принятые для исследования факторы оказались все значимыми. Наиболее сильное влияние на удельное тяговое сопротивление оказывает ширина нарельника и угол его установки.

Для изучения поверхности отклика полученные уравнения регрессии приведем к канонической форме. При каноническом преобразовании вначале производится перенос начала координат в новую точку S и поворот старых осей на некоторый угол в факторном пространстве, в результате чего исчезают линейные члены и изменяется значение свободного члена. Продифференцируем функцию отклика по каждой переменной n , приравняв к нулю частные производные, решим полученную систему уравнений. Координаты центра поверхности оказались равными:

$X_{15} = 1,569$; $X_{25} = -0,052$; $X_{35} = 0,184$,
соответственно для поверхности 4,13 получено
 $X_{15} = -0,908$; $X_{25} = -1,621$; $X_{35} = 1,509$

Подставив найденные значения координат нового центра в уравнение (7.10) и (7.11), получим значение критерия оптимизации в новом центре

$$Y_5 = 5,44 \quad \text{и} \quad Y_5^1 = 21,94.$$

После переноса центра в новую точку уравнения примут вид

$$Y_5 - 5,44 = -0,2 X_1 X_2 - 0,28 X_1 X_3 + 0,37 X_1^2 + 0,35 X_2^2 + 0,27 X_3^2 \quad (7.16)$$

$$Y_5^1 - 21,94 + -2,28 X_1 X_3 - 1,4 X_2^2 \quad (7.17)$$

Для определения коэффициентов B_{11} , B_{22} и B_{33} необходимо решить характеристическое уравнение

$$f(B) = \begin{vmatrix} b_{11} - B & \frac{1}{2} b_{12} & \frac{1}{2} b_{13} \\ \frac{1}{2} b_{12} & b_{22} - B & \frac{1}{2} b_{23} \\ \frac{1}{2} b_{13} & \frac{1}{2} b_{23} & b_{33} - B \end{vmatrix} = 0.$$

После преобразования находим кубические уравнения:
Для поверхности (7.16)

$$B^3 - 0,99 B^2 + 0,294 B - 0,0254 = 0. \quad (7.18)$$

Для поверхности (7.17)

$$B^3 + 1,4 B^2 - 1,3 B - 1,89 = 0. \quad (7.19)$$

Корни уравнения (7.18) и (7.19) определялись методом Кардана с использованием теоремы Безу. Они равны:
для уравнения (7.18) — $B_{11} = 0,148$; $B_{22} = 0,347$; $B_{33} = 0,495$,
для уравнения (7.19) — $B_{11} = -1,15$; $B_{22} = 1,163$; $B_{33} = -1,413$.

После этого уравнения (4.16) и (4.17) были преобразованы:

$$Y - 5,44 = 0,148 X_1^2 + 0,347 X_2^2 + 0,495 X_3^2; \quad (7.20)$$

$$Y - 21,94 = -1,15 X_1^2 + 1,163 X_2^2 - 1,413 X_3^2. \quad (7.21)$$

Анализ уравнения (7.20) показывает, что собственные члены характеристических полиномов имеют положительные знаки, следовательно, изучаемая поверхность отклика имеет вид эллипсоида.

Так как собственные числа характеристических полиномов уравнения (7.21) имеют разные знаки, то изучаемая поверхность отклика является поверхностью типа «минимакса» и имеет вид двуполостных гиперболоидов.

После проведенного канонического преобразования и определения поверхности отклика начнем ее анализ, которую удобно провести с помощью двумерных сечений.

Для получения двумерного сечения поверхности отклика характеризующий показатель удельного тягового сопротивления в зависимости от ширины захвата наральника и угла его резания подставляем значение $X_3 = 0$ в уравнение (7.12). Координаты нового центра определяем дифференцированием полученного уравнения и решением системы уравнений из двух неизвестных X_1 и X_2 . В нашем случае

$$X_{15} = 1,459 \quad \text{и} \quad X_{25} = -0,073.$$

Подставляя найденные значения X_{15} и X_{25} , определяем значение критерия оптимизации в новом центре: $Y_5 = 5,491$.

После переноса начала координат в новый центр уравнение принимает следующий вид:

$$Y = 5,491 - 0,2 X_1 X_2 + 0,37 X_1^2 + 0,35 X_2^2. \quad (7.22)$$

В нашем случае угол поворота осей координат α в новом центре S равен $+42^\circ 21'$. Так как знак угла α положительный, то при повороте осей координат от оси X_1 необходимо двигаться вверх.

После канонического преобразования уравнение (7.22) примет вид:

$$Y - 5,49 = 0,46 X_1^2 + 0,26 X_2^2. \quad (7.23)$$

Подставляя различные значения показателя удельного сопротивления в уравнение (7.23) получаем уравнение соответствующих контурных кривых. Аналогичным образом находятся и другие двумерные сечения поверхности отклика при $X_2 = 0$ и $X_1 = 0$. Результаты расчета координат основных точек для построения двумерного сечения приведены в табл. 7.14 и представлены на рис. 7.5; 7.6; и 7.7.

На рис. 7.8 и 7.9 представлены двумерные сечения поверхности отклика, характеризующие собой величину отклонения угла Ψ в зависимости от рассматриваемых факторов.

Проанализируем влияние факторов на удельное тяговое сопротивление рабочих органов. Целью этой части исследования является минимизация удельного тягового сопротивления. Характер линии равного уровня показывает, что на всем интервале изменения факторов увеличение ширины захвата наральника (рис. 7.5) ведет к уменьшению удельного сопротивления рабочих органов. Однако, на больших значениях угла резания фактор X_1 оказывает относительно меньшее влияние на параметр оптимизации (линии уровня удельного сопротивления рабочих органов с уменьшением резания становятся чаще). Этим подтверждается закономерность снижения удельного тягового сопротивления с уменьшением резания и увеличением ширины захвата наральника.

Из приведенных графических зависимостей по фактору X_2 можно выделить четкую область минимального тягового сопротивления (удельного) в пределах от $-0,25 X_2$ до $-0,5 X_2$.

Наиболее наглядно указанная область выделяется при больших значениях ширины захвата наральника. Наличие ярко выраженного экстремума при

изменении фактора X_1 подтверждается результатами агротехнических исследований, где при меньших значениях ширины захвата наральника рабочий орган работал ниже своей критической глубины резания (не происходил нормальный процесс скалывания почвы), что сопровождалось резким увеличением удельного тягового сопротивления.

Таблица 7.13.

Алгоритм для расчета адекватности представления результатов эксперимента полиномом первой степени

№	$\bar{y}_{11}$	$\bar{y}_{12}$	$\bar{y}_{21}$	$\bar{y}_{22}$	$\frac{\bar{y}_{11} - \bar{y}_{21}}{\bar{y}_{11}}$	$\frac{\bar{y}_{12} - \bar{y}_{22}}{\bar{y}_{11}}$	$\frac{\bar{y}_{21} - \bar{y}_{22}}{\bar{y}_{11}}$	$\sum_{i=1}^n (y_{1i} y_{2i})^2$	$\bar{y}_{11}^2$	$\bar{y}_{21}^2$
1	7.8	7.64	7.72	8.04	0.16	0.08	0.24	0.0896	69.84	0.56
2	5.74	5.77	5.71	5.74	0.03	0.03	0	0.0018	32.95	0.16
3	9.58	9.85	5.47	9.42	0.27	0.11	0.16	0.1106	91.78	0.09
4	6.14	5.98	6.22	6.22	0.16	0.08	0.08	0.0384	47.70	0.18
5	9.84	10.03	9.79	9.70	0.19	0.05	0.14	0.0582	96.83	0.21
6	6.09	6.13	5.86	6.27	0.04	0.13	0.18	0.0509	37.09	0.11
7	10.74	11.28	10.03	10.92	0.54	0.71	0.18	0.8281	115.4	0.20
8	6.79	6.20	7.11	7.06	0.59	0.32	0.27	0.5234	46.11	0.52
9	7.2	6.92	7.55	7.13	0.28	0.35	0.07	0.2058	51.84	0.48
10	5.94	6.21	5.76	5.84	0.28	0.18	0.10	0.1208	35.28	0.13
11	6.21	5.93	5.98	6.72	0.08	0.03	0.51	0.2634	38.56	0
12	6.80	6.74	7.23	6.43	0.06	0.48	0.37	0.3609	46.24	0.23
13	6.14	5.82	5.98	6.62	0.32	0.16	0.38	0.3624	37.70	0.58
14	6.40	6.78	6.38	6.04	0.38	0.02	0.36	0.2744	40.96	0.64
15	6.25	6.02	6.36	6.37	0.23	0.11	0.12	0.0794	39.06	0.57
16	6.71	7.04	6.53	6.56	0.33	0.18	0.15	0.1638	45.02	0.18
17	6.07	5.76	6.12	5.81	0.31	0.05	0.26	0.1662	36.05	0.41
18	6.32	6.73	6.16	6.07	0.41	0.16	0.25	0.2562	39.94	0.30
19	6.45	6.19	6.53	6.63	0.26	0.08	0.18	0.1064	41.60	0.12
20	6.27	6.74	6.10	5.97	0.47	0.17	0.30	0.3398	39.30	0.07

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (y_{1i} - \bar{y}_{1i})^2 = 4.401;$$

$$\sum_{i=1}^n \bar{y}_{1i}^2 = 1010.2;$$

$$S_y^2 = 0.11.$$

Таблица 7.14.
Алгоритм для расчета адекватности представления результатов эксперимента полиномом второй степени

№										
1	24.1	26.13	21.9	24.27	2.03	2.2	0.17	8.99	580.81	2.1
2	40.3	41.5	40.1	39.3	1.02	0.2	1.0	2.48	1624.09	0.6
3	12.0	11.7	12.9	11.4	0.3	0.9	0.6	1.26	144.0	2.0
4	27.5	30.1	25.8	26.6	2.6	1.7	0.9	10.46	756.25	1.7
5	21.6	23.4	19.1	22.3	1.8	2.5	0.7	9.98	466.56	0.8
6	27.2	28.2	24.3	29.1	1.0	2.9	1.9	13.02	739.84	1.3
7	11.8	13.5	8.2	13.7	1.7	3.6	1.9	19.46	139.24	0.7
8	19.7	16.1	19.4	23.6	3.6	0.3	3.9	28.26	388.09	0.4
9	22.1	24.6	21.7	20.0	2.5	0.4	2.1	10.82	488.41	0.9
10	23.2	21.4	27.2	21.0	1.8	4.0	2.2	24.08	538.24	1.6
11	26.4	28.4	22.0	28.8	2.0	4.4	2.4	29.12	696.96	2.5
12	14.6	15.3	14.1	14.4	0.7	0.5	0.2	0.64	213.16	3.1
13	24.4	26.2	21.8	25.2	1.8	2.6	0.8	10.64	595.36	0.4
14	21.6	18.9	20.7	25.2	2.7	0.9	3.6	21.06	466.56	2.2
15	24.5	23.2	26.8	23.5	1.3	2.3	4.0	7.98	600.25	1.5
16	26.7	28.3	24.4	27.4	1.6	2.3	0.7	8.34	712.89	0.8
17	25.3	29.1	22.8	24.0	3.8	2.5	1.3	22.38	640.09	1.1
18	24.8	24.3	26.7	23.4	0.5	1.9	1.4	5.82	615.04	1.1
19	26.0	22.7	27.0	28.3	3.3	1.0	2.3	17.18	676.0	2.4
20	23.5	20.2	25.2	25.5	3.3	1.7	2.0	17.78	552.25	0.8

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (y_{1i} - \bar{y}_{1i})^2 = 269,75;$$

$$\sum_{i=1}^n \bar{y}_{1i}^2 = 11614,09;$$

$$S_y^2 = 6,74.$$

Наличие ярко выраженного экстремума при изменении фактора X_1 подтверждается результатами агротехнических исследований, где при меньших значениях ширины захвата наральника рабочий орган работал ниже своей критической глубины резания (не происходил нормальный процесс скалывания почвы), что сопровождалось резким увеличением удельного тягового сопротивления.

На уменьшение y заметное влияние оказывает угол наклона стойки — фактор X_2 (рис. 7.6 и 7.7.). Из приведенных графиков видно, что наиболее существенное влияние фактор X_2 оказывает при меньших значениях угла резания наральника (рис 7.6). Этот факт объясняется тем, что при меньших

значениях факторов X_2 и X_3 создаются лучшие условия для последовательного взаимодействия наральника и стойки с почвой.

Другим не менее важным параметром оптимизации технологического процесса глубокого рыхления почвы, является отклонение угла Ψ равнодействующей сил сопротивления почвы R_{Σ} .

Проанализируем влияние факторов на величину Y^1 .

Из рис. 7.8 видно, что наиболее существенную роль на параметр оказывает фактор X_2 при его увеличении параметр снижается. Таким образом, увеличение угла β сопровождается пропорциональным снижением устойчивости чизельного плуга по глубине обработки. Это объясняется тем, что с увеличением угла β меняется и соотношение вертикальных и горизонтальных сил сопротивления почвы R_x и R_z , так как в этом случае впереди наральника образуется уплотненное ядро, которое производит деформацию смятия и увеличивает сопротивление почвы. На параметр оптимизации, как видно из рис. 7.9, заметное влияние оказывает и фактор X_3 , при этом с его уменьшением параметр Y^1 увеличивается. Однако по степени своего воздействия на параметр оптимизации фактор X_3 уступает фактору X_2 . Снижение параметра с увеличением фактора X_3 , очевидно, объясняется тем, что в то время, когда полностью не завершился процесс скалывания почвы наральником, обрабатываемый пласт входит во взаимодействие со стойкой рабочего органа, которая производит резание пласта аналогично вертикальному ножу. В этом случае нарушается соотношение величин R_x и R_z , что и сопровождается изменением угла Ψ .

Таким образом, наряду с фактором X_2 на отклонение угла Ψ и, следовательно, на заглубляемость и устойчивость хода орудия по глубине заметное влияние оказывает и фактор X_3 . Полученные в наших исследованиях результаты хорошо согласуются с данными Синеокова Г.Н., Панова И.М., Плюшева Г.В. и др.

Как показал приведенный анализ, при оптимизации процесса по удельному сопротивлению и отклонению угла Ψ факторы имеют разные значения. В связи с этим необходима комплексная оптимизация процесса по обоим параметрам Y и Y^1 . Эта задача заключается в определении такого параметра рабочих органов, где при минимуме удельного сопротивления обеспечивается устойчивая работа плуга по глубине обработки. Для решения этой задачи необходимо отыскать экстремум функции отклика при ограничениях накладываемых функцией Y^1 (Налимов В.В., Чернова Н.А., 1965). Имеющийся в литературе ряд данных по отклонению угла Ψ (у симметричных рабочих органов) могут быть не характерными для чизельного плуга. В данном случае воспользуемся результатами теоретических и экспериментальных исследований чизельного плуга по глубине обработки. В наших опытах при значении Ψ равном $23^\circ \dots 28^\circ$ обеспечивалось выполнение агротехнических требований к чизельному плугу, где коэффициент вариации глубины обработки не превышал 10%.

Таблица 7.15.
Результаты расчета координат основных точек для построения двумерного сечения

$X_1 = 0$			$X_2 = 0$			$X_3 = 0$		
Вел. Пар.	X_3	X_2	Вел. пар.	X_3	X_1	Вел. пар.	X_1	X_2
6.2	+0.420	0	5.5	+0.485	0	5.5	+9.278	0
6.2	0	+0.306	5.5	0	+0.368	5.5	0	+0.839
6.5	+1.250	0	6.0	+1.540	0	5.7	+0.621	0
6.5	0	+0.914	6.0	0	+1.169	5.7	0	+1.876
6.8	+1.723	0	6.5	+2.123	0	5.9	+0.834	0
6.8	0	+1.255	6.5	0	+1.612	5.9	0	+2.520
7.1	+2.089	0	7.0	+2.578	0	6.1	+1.008	0
7.1	0	1.522	7.0	0	+1.957	6.1	0	+3.030
7.4	+2.400	0	7.5	+2.963	0	6.3	+1.146	0
7.4	0	+1.748	7.5	0	+2.250	6.3	0	+3.460
7.7	+2.675	0	8.0	+3.304	0	6.5	+1.270	0
7.7	0	+1.949	8.0	0	+2.509	6.5	0	+3.853
8.0	+2.924	0	8.5	+3.613	0	6.7	+1.391	0
8.0	0	+2.130	8.5	0	+2.743	6.7	0	+4.200
8.3	+3.153	0	9.0	+3.898	0	6.9	+1.497	0
8.3	0	+2.298	9.0	0	+2.959	6.9	0	+4.519

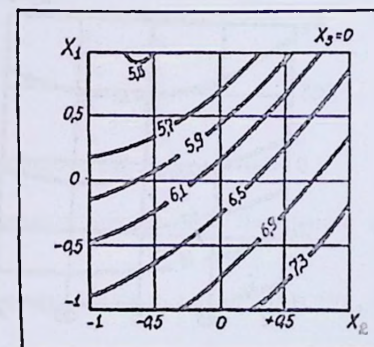


Рис. 7.5. Зависимость удельного тягового сопротивления от ширины захвата (X_1) и угла (X_2) резания наральника.

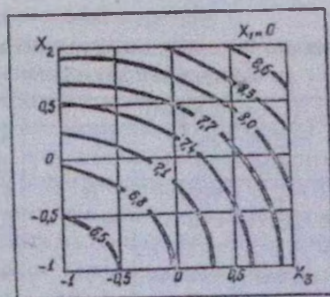


Рис. 7.6. Зависимость удельного тягового сопротивления от угла (X_2) резания и угла наклона (X_3) стойки.

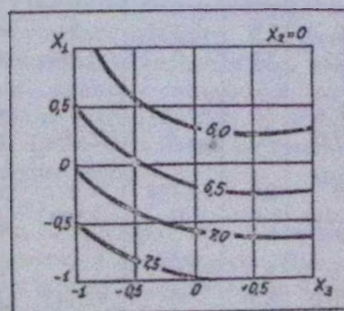


Рис. 7.7. Зависимость удельного сопротивления от ширины захвата паральника (X_1) и угла наклона стойки (X_3).

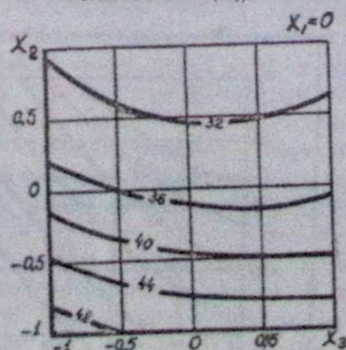


Рис. 7.8. Зависимость отклонения угла Ψ от угла резания паральника (X_2) и наклона стойки (X_3).

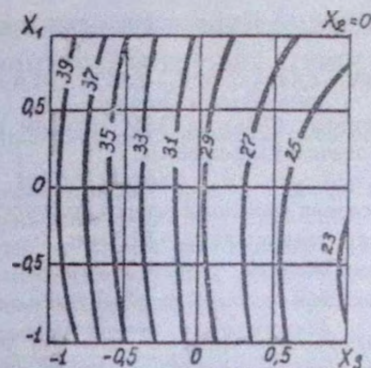


Рис. 7.9. Зависимость отклонения угла Ψ от ширины (X_1) паральника и угла наклона стойки (X_3).

Согласно этому, принимая $Y^1 = 28^\circ$, напомним начальные условия:

$$Y = 6.3 - 1.12 X_1 + 0.35 X_2 + 0.34 X_3 - 0.20 X_1 X_2 - 0.28 X_1 X_3 + 0.37 X_1^2 + 0.35 X_2^2 + 0.27 X_3^2; \quad (7.24)$$

$$28 = 25.11 + 3.44 X_1 - 4.54 X_2 - 2.07 X_3 - 2.28 X_1 X_3 - 1.40 X_2^2. \quad (7.25)$$

В дальнейшем задача сформулируется следующим образом: найти условный экстремум функции (7.24) с уравнением связи (7.25).

Эта задача при большом числе независимых переменных (2) решается с помощью вычислительной математики с использованием метода неопределенных множителей Лагранжа (Налимов В.В., Чернова Н.А., 1965. Корн Г., Корн Т., 1970), который сводится к решению следующей системы уравнений:

$$Y = \theta(X_1, X_2, \dots, X_n);$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x_i} + \lambda \frac{\partial \psi}{\partial x_i} = 0;$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x_k} + \lambda \frac{\partial \psi}{\partial x_k} = 0,$$

где λ — неопределенный множитель Лагранжа.

Метод неопределенных множителей Лагранжа приводит к системе уравнений:

$$-1.12 - 0.2 X_2 - 0.28 X_3 + 0.74 X_1 + (3.44 - 2.28 X_3) = 0;$$

$$0.35 - 0.2 X_1 + 0.7 X_2 + (-4.54 - 2.8) = 0; \quad (7.26)$$

$$0.34 - 0.28X_1 + 0.54X_2 + (-2.07 - 2.28X_1) = 0;$$

$$25.11 + 3.44X_1 - 4.54X_2 - 2.07X_3 - 2.28X_1X_3 - 1.4X_2^2 = 28.$$

Решением системы (7.26) на ЭВМ методом наискорейшего спуска получены следующие значения переменных:

$$X_1 = 0.077; \quad X_2 = -0.666; \quad X_3 = 0.608; \quad \lambda = 0.304.$$

После раскодирования значения факторов получим:

- ширина захвата наральника $b_n = 82.3$ мм;
- угол резания наральника $\beta = 26.7$ град;
- угол наклона стойки $\alpha = 53.7$ град.

Результаты динамометрирования показали, что выявленные параметры рабочих органов являются оптимальными с точки зрения расхода энергии и выполнения агротехнических требований.

Проведенные исследования по энергооценке рабочих органов чизельного плуга в зависимости от его конструктивных параметров позволили сделать следующие выводы.

1. Составленные уравнения регрессии по назначенным величинам основного уровня и интервалов варьирования факторов, адекватно описывают исследуемое факторное пространство.

2. В результате комплексного анализа процесса глубокого чизелевания по условиям выполнения агротребований с наименьшими энергозатратами рекомендуются следующие параметры рабочих органов чизельного плуга:

- b_n – ширина захвата наральника – 82.3 мм;
- β – угол резания наральника – 26.7 град;
- α – угол наклона стойки – 53.7 град.

8. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

8.1. Функции нагружения

Мобильный хлопководческий агрегат как динамическая система

[12] Сельскохозяйственный агрегат находится в постоянном взаимодействии с окружающей средой, что проявляется во внешнем силовом нагружении его частей и элементов. Характер указанного нагружения устанавливается состоянием окружающей среды и параметрами движения самого агрегата. Изменчивость внешних факторов при взаимодействии рабочих органов с обрабатываемой средой и движителей с поверхностью поля обуславливает сложный характер движения отдельных точек, влияющего, в свою очередь, на качество выполнения технологического процесса, а также энергетические затраты. Так, изменение хода рабочих органов мобильных хлопководческих агрегатов в продольном и поперечном направлениях приводит к неравномерной загрузке тракторного двигателя и увеличению расхода топлива.

Равномерность тяговых сопротивлений и технологические показатели работы машин существенно зависят также от скорости движения агрегатов. С повышением скорости частота возмущающих факторов (неровности поверхности поля, сопротивление среды и др.) увеличивается, что влияет на работу хлопкоуборочной машины, вызывая как неравномерную загрузку двигателя трактора, так и изменение режима работы уборочного аппарата.

Классификацию внешних силовых нагрузок, действующих на мобильный агрегат в период эксплуатации, целесообразно проводить, исходя из характера их распределения по частям и элементам конструкции агрегата, а также из характера их изменения во времени. Внешние силовые нагрузки оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние частей конструкции и соответствующие внутренние усилия, определяющие силовое взаимодействие частей конструкции между собой. По характеру распределения все нагрузки могут быть разделены на поверхностные и массовые (объемные). Поверхностные распределяются по поверхности элементов агрегата и характеризуются давлением или значением равнодействующей силы. Массовые нагрузки распределяются по объему элементов агрегата, пропорциональны плотности их материала и характеризуются величинами коэффициентов перегрузок K_n (K_x , K_y , K_z), которые определяются ускорениями элементов конструкции и ускорением агрегата как твердого тела, обусловленным действием на него внешних неуравновешенных поверхностных сил.

Основным источником массовых (инерционных) нагрузок на отдельные элементы и части конструкции является вибрация (общие или местные ускорения колебательного характера). Поскольку силовое воздействие со стороны окружающей среды на конструкцию представляет собой случайный процесс, классификация внешних силовых факторов по характеру их изменения

во времени является условной и во многом зависит от рассматриваемого интервала времени. Поэтому она проводится с учетом степени влияния скорости изменения внешних поверхностных нагрузок на внутренние усилия.

При определенных скоростях изменения таких нагрузок приводит к возбуждению упругих колебаний агрегата в целом или его частей. В результате может измениться деформированное состояние несущих элементов конструкции, что сопровождается соответствующим изменением внутренних усилий и появлением дополнительной вибрационной нагрузки на узлы и детали агрегата. В связи с этим все внешние поверхностные нагрузки подразделяются на статические, относительно медленно изменяющиеся во времени, и динамические, вызывающие упругие колебания конструкции мобильного агрегата. Динамические нагрузки возникают при неравномерном движении машины в связи с разгоном и торможением, при возвратно-поступательном и касательном движениях элементов машины, при неуровненности вращающихся деталей и неровностях дороги. Динамические воздействия внешних поверхностных нагрузок, проявляющиеся в возбуждении упругих колебаний зависят главным образом от динамических характеристик конструкции самого агрегата. Поэтому в качестве критерия указанной классификации выбирается период (или частота) собственных упругих колебаний конструкции в целом или ее частей и элементов: если время изменения внешней поверхностной нагрузки велико по сравнению с рассматриваемым периодом собственных упругих колебаний, то она относится к категории статических или динамических и наоборот. Таким образом, одна и та же внешняя сила в одном случае может считаться статической, в другом — динамической.

8.2. Функции несущей способности конструкции агрегата

Свойство конструкции нести определенную нагрузку можно количественно охарактеризовать некоторой векторной функцией несущей способности ($\bar{R}(t)$), адекватной соответствующей векторной функции внешнего нагружения ($\bar{P}(t)$). Значение $\bar{R}(t)$ будет определяться геометрическими параметрами элементов конструкции и физико-механическими свойствами их материала. Количественно функция несущей способности может быть выражена через предельное значение функции нагружения:

$$\bar{R}(t) = P^p(t). \quad (8.1)$$

Малейшее превышение которого приведет к выходу конструкции из строя. Таким образом, мгновенное значение функции несущей способности — $\bar{R}(t)$ может отличаться от мгновенного значения соответствующей функции нагружения — $\bar{P}(t)$ лишь некоторым множителем — $\eta(t)$, который называется коэффициентом запаса прочности:

$$\eta(t) = \frac{\bar{R}(t)}{\bar{P}(t)}. \quad (8.2)$$

Если это отношение больше единицы, конструкция сохраняет свою способность сопротивляться воздействию окружающей среды, если меньше единицы, теряет эту способность.

Несущими частями мобильного хлопководческого агрегата являются рама и ходовая часть. Основные источники динамических нагрузок несущей части МТА — неровности пути и рабочее сопротивление сельскохозяйственных машин, особенно при движении на повышенных скоростях. Дополнительные нагрузки, возникающие при движении агрегата, оцениваются коэффициентом динамичности [10, 19], который определяется как отношение полной нагрузки ($\bar{P}_{\max}$) к статической ($\bar{P}_{\text{ст}}$):

$$K_d = \frac{\bar{P}_{\max}}{\bar{P}_{\text{ст}}} \quad (8.3)$$

Он находится как расчетным путем, так и экспериментально.

Поскольку мобильный хлопководческий агрегат подвергается сложному нагружению и не всегда $P_i(t)$ удастся привести к простому виду посредством перевода некоторых внешних силовых факторов из $\bar{P}_i(t)$ в $\bar{R}_i(t)$, следует использовать не коэффициент запаса прочности, а функцию резерва прочности:

$$\Psi_i(t) = \bar{R}_i(t) - \bar{P}_i(t) \quad (8.4)$$

Функция внешнего нагружения мобильного хлопководческого агрегата существенно изменяется при переходе от одного этапа эксплуатации к другому, поэтому несущая способность конструкции в целом в каждом i -м режиме нагружения $\bar{R}_i(t)$ будет лимитироваться несущей способностью различных его деталей и узлов. При этом функцию резерва прочности и само условие прочности конструкции целесообразно изображать в виде

$$\Psi_{ij}(t) = R_{ij} - P_{ij}(t), \quad (8.5)$$

при условии

$$\Psi_{ij}(t) > |j=1,2,\dots,m|, \quad (8.6)$$

где m — число частей конструкции; n — число режимов нагружения.

Невыполнение неравенства (8.6) хотя бы для одной части конструкции в одном из возможных режимов нагружения агрегата рассматривается как случайное событие, вероятность реализации которого определяется формулой

$$P\{\Psi_{ij} < 0\} = \int_{-\infty}^0 P\{\Psi_{ij}\} d\Psi_{ij}, \quad (8.7)$$

где $P\{\Psi_{ij}\}$ — плотность распределения вероятности функции резерва прочности; j — часть конструкции в i -м режиме нагружения.

Значение функции $R_{ij}(t)$, при котором обеспечивается выполнение неравенства (8.6) для всех t в пределах данного режима нагружения с заданной вероятностью, называется потребным значением функции несущей способности j части конструкции и обозначается через R_{ij}^n . Потребные значения функции $R_{ij}^n(t)$ должны выявляться на самых ранних стадиях

проектирования любого мобильного агрегата, тогда условие прочности можно будет представить в виде

$$R^{\phi}_{ij} \geq R^a_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m), \quad (8.8)$$

где R^{ϕ}_{ij} – фактическое значение функции несущей способности.

8.3. Прочность и надежность конструкции агрегата

При случайном характере изменения функций внешнего нагружения и функций несущей способности действительная оценка прочности агрегата может быть осуществлена только путем определения вероятности выполнения неравенства (8.6) и сопоставления этой вероятности с некоторой величиной, т.е. только путем вероятностной оценки функций резерва прочности и потребной надежности конструкции агрегата. Под надежностью понимается свойство конструкции агрегата выполнять требуемые условия в течение установленного времени в реальных условиях воздействия окружающей среды при соблюдении соответствующих правил эксплуатации. Понятие надежности включает и такие качества, как восстанавливаемость в процессе работы, ремонтпригодность, долговечность, т.е. оно является более широким, чем понятие прочность конструкции. Количественно надежность характеризуется вероятностью безотказной работы конструкции в течение установленного времени эксплуатации, другими словами – вероятностью ее неразрушения.

Конструкция агрегата может считаться прочной лишь тогда, когда вероятность не разрушения ее частей больше или равна потребной:

$$1 - P\{\Psi_{ij} \leq 0\} \geq R^a_{ij} \quad \text{для всех } i \text{ и } j, \quad (8.9)$$

Таким образом, в теории прочности конструкции агрегата необходимо установление тех общих положений, учет которых на всех этапах разработки конструкций позволит обеспечить выполнение приведенного условия. При этом имеется в виду не оценка надежности готовой конструкции, а комплексное установление и, особенно, создание потребной надежности частей агрегата в процессе его проектирования и изготовления. Надежность мобильного хлопководческого агрегата в целом тесно связана с надежностью работы двигателя, силовой передачи и системы управления; ненормальное функционирование одной из этих систем может сопровождаться изменением значений функций внешнего нагружения.

Важное значение имеет и такая характеристика надежности мобильных агрегатов, как долговечность, оцениваемая суммарным временем работы конструкции агрегата для полного износа. При этом под износом понимается такое состояние конструкции, когда дальнейшее применение становится недопустимым по экономическим и качественным соображениям или с точки зрения техники безопасности. Знание характеристик долговечности позволяет установить технический ресурс работы конструкции агрегата. Долговечность конструкции обычно выражается в тех единицах, в которых ведется контроль за процессом эксплуатации агрегата (моторчасы, гектары, числа циклов

нагружения и т.д.). Средняя долговечность может быть выражена и через функцию надежности.

Таким образом, прослеживается связь прочности конструкции с надежностью и безопасностью. Это необходимо учитывать при выборе конструктивно-силовой схемы агрегата и оценке потребных значений функций несущей способности их частей. Одним из самых простых способов обеспечения надежности несущей конструкции агрегата является создание сравнительно низкого уровня ее напряженно-деформированного состояния. Но такой путь для мобильных хлопководческих агрегатов не приемлем, так как будет приводить к увеличению массы агрегата, а следовательно – к повышению уплотнения почвы, росту энергозатрат на передвижение агрегата и ухудшению их транспортировки.

8.4. Пути минимизации конструктивной массы агрегата

Ко всем инженерным конструкциям предъявляются одинаковые требования, заключающиеся в высокой несущей способности и надежности в процессе ее эксплуатации и минимальной массе самой конструкции. Следует отметить, противоречивость этих требований, что ощущается при проектировании мобильной сельскохозяйственной техники.

Характерной особенностью постановки задач оптимизации силовых схем типовых частей конструкции агрегата и конструктивных параметров отдельных частей и несущих элементов является рассмотрение их при определенной схеме нагружения или заданной функции нагружения. Таким образом, задачи оптимизации конструктивно-силовых схем сводится к нахождению параметров элементов частей конструкций, обладающих минимальной массой лишь при потребной несущей способности R^a_{ij} (с учетом всякого рода ограничений, в том числе и технологического порядка). Как отмечалось выше, динамические характеристики агрегата оказывают существенное влияние на значения функций нагружения $P_{ij}(t)$. Отсюда следует, что соответствующим изменением конструктивно-силовой схемы мобильного хлопководческого агрегата можно в определенных пределах регулировать значение этих функций нагружения, т.е. можно снизить массу конструкции и за счет уменьшения потребной несущей способности ее частей – R^a_{ij} . Но конструкция агрегата, состоящая из оптимально спроектированных частей (по минимальной массе), может оказываться в целом неоптимальной даже по массе. Поэтому наряду с задачами оптимизации конструктивно-силовых схем отдельных частей необходимо рассматривать и задачи оптимизации конструктивно-силовых схем агрегатов в целом и отдельных узлов.

Рассмотрим два основных пути получения минимальной массы несущей конструкции мобильного хлопководческого агрегата:

- 1) максимизация фактических значений функций несущей способности – R^{ϕ}_{ij} ;
- 2) минимизация потребных значений функций несущей способности – R^a_{ij} .

Возможность регулирования потребного значения функций несущей способности отдельных частей конструкции агрегата (R^a_{ij}) посредством

изменения конструктивно-компоновочной схемы проверена на экспериментальном тракторе «Мансур» Ташкентского тракторного завода, на котором была установлена цельнометаллическая кабина, а топливный бак помещен над передней опорой трактора. Изменение конструктивно-компоновочной схемы трактора привело к изменению функций нагружения.

Такой принцип регулирования потребной несущей способности частей конструкции может быть распространен и на другие узлы агрегата. Например, проведенные нами комплексные исследования по нагруженности и напряженности рамы чизель-культиватора ЧКУ-4 совместно с ГСКБ по машинам для хлопководства (исполнитель Ю.Д. Чернов) позволили обосновать переход рамы ЧКУ-4 на гнутый профиль и внедрить его на заводе «Чирчиксельмаш», что дало возможность снизить массу самой машины на 90 кг и сэкономить в год 360 тыс. кг металла.

8.5. Оптимизация конструктивно-силовой схемы машинно-тракторного агрегата

Задачи оптимизации конструктивно-силовых схем вновь проектируемых мобильных хлопководческих агрегатов и всякого рода модификации существующих конструкций, включая и случаи использования унифицированных узлов и рабочих органов, различаются ограничениями, накладываемыми на их условия. Например, при использовании унифицированных узлов и агрегатов эти ограничения могут иметь следующий вид:

$$R_{ij}^n \leq R_{ij}^{\phi} \text{ (для всех } i \text{).} \quad (8.10)$$

Это значит, что потребные значения функций несущей способности частей конструкции унифицированных узлов и деталей в составе рассматриваемого агрегата R_{ij}^n не должны превышать фактические значения этих функций (R_{ij}^{ϕ}). В тех случаях, когда указанное условие не может быть практически выполнено, ограничение может формулироваться в виде требования к минимальному объему доработок конструкций используемых унифицированных узлов или агрегатов. Сама по себе задача оптимизации конструктивно-силовой схемы унифицированного агрегата является сложной, хотя методы ее решения в принципе остаются такими же, как и для обычного неунифицированного мобильного хлопководческого агрегата, однако значительно возрастает объем расчетов-теоретических исследований по оценке потребных значений R_{ij}^n и усложняются вводимые ограничения. Это объясняется тем, что потребные значения функций несущей способности частей конструкций унифицированных узлов и агрегатов должны представлять обтекающую оптимальных значений R_{ij}^n , полученных для всех n возможных случаев использования этих узлов и рабочих органов в составе других агрегатов, т.е. $\wedge$

$$R_{ij}^n = \max R_{ijn}^n$$

Естественно, что при таких условиях конструктивно-силовая схема какого-либо агрегата с унифицированным узлом может не быть оптимальной,

т.е. фактические значения функций несущей способности отдельных частей этого узла в составе данного агрегата могут оказаться выше потребных. Тогда необходима некоторая корректировка конструктивно-силовой схемы других узлов рассматриваемого агрегата исходя из неравенства $R_{ij}^n \leq \max R_{ijn}^n$.

Таким образом, задача оптимизации конструктивно-силовых схем в данном случае должна решаться для группы мобильных агрегатов, связанных между собой унифицированными узлами и рабочими органами.

При оптимизации конструктивно-силовой схемы агрегата в целом и его отдельных частей основными являются ограничения, накладываемые технологией производства, физико-механическими свойствами материалов и компоновочной схемой агрегата, а также стоимостью и сроками реализации проекта.

Конструктивно-силовая схема мобильного агрегата приближается к оптимальной лишь тогда, когда при ее выборе принимаются во внимание все основные факторы, влияющие на R_{ij}^n , в том числе и требования по надежности. Для вновь проектируемых мобильных хлопководческих агрегатов в качестве критерия оптимальности конструктивно-силовой схемы может быть принято условие получения минимальной массы конструкции агрегата в целом. В отдельных случаях в качестве целевой функции может рассматриваться и возможная стоимость конструкции (включая и стоимость проектирования).

$$\Phi = \sum_{i=1}^m [\Phi_i^2(P_i') + \Phi_i^2(1 - P_i'')], \quad (8.11)$$

где $\Phi_i^2(P_i')$ — функция, учитывающая стоимость экспериментальной отработки потребной несущей способности i -й части конструкции в зависимости от уровня потребной надежности (P_i''); Φ_i^2 — функция, учитывающая убытки в результате разрушения i -й части конструкции при эксплуатации агрегата.

Степень влияния Φ_j^2 на Φ определяется допустимой вероятностью разрушения j -й части конструкции, равной $Q'' = 1 - P_j''$.

Таким образом, задача оптимизации конструктивно-силовой схемы любого мобильного хлопководческого агрегата может быть сформулирована в следующем виде: необходимо выбрать такую конструктивно-силовую схему, которая бы удовлетворяла принятому критерию эффективности и требованиям надежности при учете соответствующих ограничений, включая и ограничения по ожидаемой стоимости Φ . Требования надежности (P_{mi}'') в данном случае учитываются в процессе оценки потребных значений функций несущей способности всех тех частей конструкции R_{ijn}^n , которые входят в формулу:

$$\sigma_{kmi} = \sum_{i=1}^{m_i} \sigma_{kmi} (P_{mi}'') \quad (8.12)$$

и в функцию Φ .

Задачу оптимизации конструктивно-силовой схемы мобильного хлопководческого агрегата необходимо рассматривать в более общей постановке: наряду с конструкцией агрегата оптимизировать и те параметры

его систем, которые влияют на значения функций нагружения $P_{ij}^n(t)$ (параметры двигательной установки, системы управления и компоновочной схемы). Такой подход предполагает рассмотрение в комплексе многих факторов, влияющих на значение функций нагружения частей конструкции $P_{ij}(t)$ и учет взаимодействия несущей конструкции с системой агрегата. В конечном счете, задача сводится к одновременной оптимизации конструктивно-силовой схемы и расчетных условий нагружения мобильного агрегата.

8.6. Проектирование конструкции МТА с учетом требований надежности

Специфика эксплуатации мобильного хлопководческого агрегата выдвигает проблему надежности в ряд важнейших, так как недостаточная надежность агрегатов, узлов и деталей приводит к простоям, что ставит под угрозу выполнение заданного технологического процесса в оптимальные агротехнические сроки.

Оценка прочности конструкции машин обычно осуществляется с помощью нормативных значений функций внешнего нагружения. При необходимости выявляются динамические характеристики конструкции и ее частей и оцениваются значения динамических составляющих внутренних силовых факторов. В большинстве случаев расчеты на прочность конструкций машины носят проверочный характер и осуществляются на каждой стадии разработки проекта в объеме, определяемом наличием соответствующих исходных данных.

На основании результатов теоретического и экспериментального исследований напряженно-деформированного состояния конструкции определяются запасы прочности, оценивается долговечность, а в ряде случаев и уровень надежности, которые сравниваются с допустимыми или требуемыми значениями. Если они оказываются недостаточными, то намечаются мероприятия по доработке конструкции или налагаются ограничения на условия ее эксплуатации. Однако необходимость интенсификации режимов работы сельскохозяйственных машин усложняет методы расчета структуры и параметры агрегатов при их конструировании, требует более глубокого изучения закономерностей протекания технологических и энергетических процессов. При этом прочность рассматривается в комплексе с динамикой конструкции, механикой движения, устойчивостью агрегата и т.д. Главным в этом случае становится не проверочный расчет прочности частей и элементов проектируемой конструкции, а поиск такой конструктивно-силовой схемы, которая обеспечивала бы заданный уровень надежности в реальных условиях эксплуатации и удовлетворяла бы специальным критериям качества.

Процесс совершенствования существующих и перспективных агрегатов, охватывающий периоды проектирования, разработки конструкции, ее изготовления и экспериментальной обработки, может быть разделен на два этапа:

1) Выбор конструктивно-силовой схемы и установление потребных значений функции несущей способности ее частей, а также прогнозирование

внешнего нагружения для всех возможных режимов работы агрегата с формулировкой требований к соответствующим функциям несущей способности этих частей.

2) Реализация установленных потребных значений функций несущей способности частей конструкции P_{ij}^n , определение геометрических размеров несущих элементов; решение вопросов выбора материала и технологии изготовления с испытанием прочности отдельных деталей и узлов агрегата.

Иногда на втором этапе уточняется конструктивно-силовая схема отдельных частей конструкции. Однако рамки такого уточнения всегда ограничены конструктивно-силовой схемой агрегата в целом и соответствующими лимитами на массу каждой части. Случаи выхода за эти рамки являются лишь свидетельством недостаточно тщательной разработки конструктивно-силовой схемы на первом этапе. Вопросы механической надежности должны решаться на всех стадиях разработки конструкции, особенно на первой когда принимаются решения о потребных значениях функций несущей способности, причем часто в условиях отсутствия достоверной информации о многих факторах, влияющих на значения функций нагружения. В связи с тем, что прогнозирование условий нагружения основывается на схематизации внешних воздействий и динамических свойств самой конструкции, на стадии изготовления и экспериментальной проверки агрегата проводится большой объем расчетов (теоретических и экспериментальных) по обеспечению заданных характеристик и требуемой надежности. В этот же период выявляются фактические или расчетные значения функций несущей способности частей конструкции и определяется возможный срок ее службы. Прогнозирование статистических характеристик выходных процессов (технологических, энергетических и др.) работы агрегатов можно осуществлять несколькими путями. Первый путь заключается в следующем: сначала изучают отдельные возмущения, управляющие воздействия и другие исходные переменные; затем вычисляют передаточные функции и ожидаемые статистические характеристики выходных процессов. Следует отметить, что при таком методе могут быть упущены некоторые существенные факторы. Вторым возможным путем является непосредственная обработка данных полных натурных испытаний агрегата. При этом учитывается эффект действия всех возмущений. Если агрегат только проектируется, то в первом приближении можно воспользоваться экспериментальными данными сходных агрегатов. В третьем случае экспериментальные данные полных натурных испытаний какого-либо агрегата применяют для моделирования такого же проектируемого объекта. Такой путь наиболее эффективен, так как дает возможность не только определить ожидаемые статистические характеристики выходных параметров агрегата, но и найти оптимальную конструктивно-силовую схему, обеспечивающую наилучшую переработку входных возмущений для получения нужных технологических или энергетических показателей работы агрегата.

В практике проектирования сельскохозяйственной хлопководческой техники, а также при разработке правил ее эксплуатации методы

моделирования применяют пока недостаточно. Параметры агрегатов и их элементов отрабатывают на натуральных образцах по результатам испытаний в лабораторных и полевых условиях, затем совершенствуют и вновь испытывают, на что затрачивается много средств и времени, кроме того, затрудняется создание оптимального варианта конструктивно-силовой схемы агрегата. Наиболее перспективными при разработке оптимальных систем управления хлопководческими агрегатами и оптимизации самих агрегатов являются методы математического моделирования с применением электронно-вычислительных машин.

9. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

9.1. ГИГИЕНА ТРУДА И ОТДЫХА НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ

9.1.1. Рациональный режим труда

Для получения высокой производительности научного работника необходимо входить в работу постепенно, работать ритмично [14].

Привычную работу выполнять последовательно, этап за этапом, систематично. Правильно чередовать периоды работы и отдыха. Уделять внимание регулярной тренировке и упражнениям по своей специальности, что развивает природные дарования и помогает воспитанию определенных полезных навыков и приемов трудовой деятельности.

У большинства людей интенсивность умственного труда повышается от ранних утренних часов до полудня, достигая в это время своего максимума. Затем, постепенно к 5-ти часам дня происходит снижение творческой работоспособности. В вечерние часы после обеденного перерыва и отдыха, вновь отмечается подъем работоспособности примерно в период с 7 до 9 часов вечера, который сменяется спадом энергии и необходимостью полного отдыха.

Целесообразно начальный период рабочего дня использовать главным образом для выполнения наиболее трудоёмких теоретических работ, анализа и обобщения фактических материалов, наиболее точных зрительных наблюдений. Ночная работа обычно менее производительна в творческом отношении, чем дневная.

Если человек работает бессистемно, нецелесообразно, без достаточной напряженности, то у него быстро наступает общее переутомление. При умелом распределении умственного труда можно не только развить громадную по своей продуктивности работу, но притом сохранить на долгие годы умственную работоспособность и общий тонус своей жизнедеятельности.

9.1.2. Память и её совершенствование

Профессиональные особенности труда ученого трудно сохранять, быстро и точно восстанавливать в памяти множество фактов, терминов, понятий, приёмов и методов исследований в определенной области знания. Память, как и другие психические процессы, является функцией головного мозга, одной из форм отражения объективной действительности. В результате раздражительного процесса в любых группах непрерывных клеток коры головного мозга возникают очаги возбуждения и остаются следы в виде систем временных связей. Одни из этих связей недолговечны и быстро исчезают, другие более прочные остаются надолго.

Благодаря нервным возбуждениям, поступающим в мозг через сложную систему нервных связей, создаётся регулярное накопление информации из внешнего мира — мыслей, чувств, знаний. Эти динамические процессы обуславливают, в конечном счете формирование жизненного и социального

опыта, привычек, мастерства. Весь этот громадный запас восприятий в какой-то мере сохраняется в центральной нервной системе и образует своеобразный индивидуальный фонд информации, из которого мы сможем постоянно черпать нужные нам сведения.

Процессы запоминания и воспроизведения отличаются большой динамичностью и теснейшим образом связаны с особенностями личности человека.

Идейная направленность человека определяет его отношение к работе в коллективе, отношение в семье, к близким, людям, товарищам, знакомым, направленность всей его общественной деятельности, круг интересов, склонностей, вкусов, формы отдыха и т.д. Во всем этом память имеет первостепенное значение.

Хорошая память — это не только проявление нормальных психических способностей человека, но и в значительной мере результат постоянного воспитания и совершенствования её.

Для лучшего запоминания каких-либо материалов разработано много различных приёмов и способов. Первое условие хорошего запоминания — это сосредоточение внимания на объекте. Если внимание сконцентрировано на определенных особенностях объекта, то запоминание их происходит в 10 и более раз быстрее и надежнее, чем при рассеянном внимании.

При изучении всяких новых материалов, если при этом необходимо и хорошо запомнить их содержание, полезно работать, как говорят, с карандашом в руке, т.е. с обязательной записью текста и продумыванием его сущности, особенностей графического обозначения и правильного произношения незнакомых слов и знаков.

Запоминанию таких материалов способствует сознательное усвоение последних, многократное, повторное чтение с анализом и расшифровкой элементов текста.

Различают много способов запоминания текстовых материалов, условных обозначений, иностранных слов, мелодий. Наиболее рас-пространенным из них являются логический и механический.

Логическое запоминание требует глубокого осмысливания содержания событий, фактов, слов и их графического обозначения. Механическое запоминание не требует обязательной расшифровки того, как условно обозначается тот или иной факт или понятие, и что скрывается за шифром, например, при запоминании номеров телефонов, адресов, названий, учреждений.

Обычно для разгрузки памяти делают точные и разборчивые записи необходимых данных.

Хорошую память надо воспитывать.

9.1.3. Рабочее помещение и рабочее место

Основные гигиенические требования к помещению для выполнения научно-исследовательской работы касаются размеров комнаты,

метеорологических условий в ней, чистоты воздуха, общего и местного освещения, защиты от шума.

Особое внимание должно быть уделено созданию безопасных и гигиенических условий для научных работников и проведению тщательного инструктажа в этом направлении всех новых сотрудников. Площадь на каждого человека не менее 6-8 м². Температура воздуха должна быть 18-20°, Чистый воздух имеет первостепенное значение для эффективного творческого труда. Уметь находить время для отдыха и расслабляться.

9.1.4. О гигиене зрения

Рабочие помещения для научного исследования должны быть устроены так, чтобы иметь достаточное и равномерное естественное освещение. Особое внимание следует уделить организации освещения непосредственно на рабочем месте и окружающем пространстве, чтобы всячески уменьшить зрительное напряжение и улучшить качество видения. Это достигается различными средствами. При естественном освещении надо исключить прямое или отраженное раздражающее действие на органы зрения солнечного света. При искусственном электрическом освещении наилучшая работоспособность глаз достигается благодаря устройству комбинированного (общего и местного) освещения.

По сравнению с лампами накаливания люминесцентное освещение оказывает более благоприятное действие на зрение. Чтобы предупредить преждевременное ослабление зрения, необходимо регулярно давать отдых глазам по несколько минут после каждого часа напряженной зрительной работы.

Избегайте читать при слабом или ярком освещении. Не рекомендуется читать лежа в постели в период отдыха, т.к. при этом резко нарушается кровообращение.

9.1.5. Режим отдыха и питания

Бодрое состояние духа, хорошее самочувствие, постоянную готовность к труду в человеке поддерживает определенный режим труда и отдыха.

Очень важно научиться работать размеренно, ритмично, установить и придерживаться порядка определенного времени для выполнения плановых заданий и отдыха. Необходимо ввести, как правило, ежедневного, еженедельного и ежегодного отдыха и систематическое занятие физкультурой и спортом. Активный отдых быстро и лучше восстанавливает работоспособность человека.

Правильно организованное рациональное питание имеет решающее значение для обеспечения высокой производительности научного труда. Пищевой рацион в сутки для научных работников должен содержать 3000-3200 ккал.

В составе пищи необходимо иметь до 17% белков (около 110 гр), до 16% жиров и 63-67% углеводов. Белки играют особую важную роль в деятельности центральной нервной системы и функционального состояния всего организма.

Белки входят в пищевой рацион в виде мяса и мясных продуктов, рыбы, молока, яиц, хлеба, круп, гороха. В набор продуктов необходимо вводить хотя бы 1-2 раза в неделю вместе жирами животного происхождения также и растительные масла (подсолнечное, кукурузное), содержащие важные для жизнедеятельности организма ненасыщенные жирные кислоты.

В пище должно быть достаточное количество витаминов (особенно группы А, В и С) и минеральных солей (кальция, фосфора и железа), необходимых для нормальной деятельности организма.

Некоторые люди еще, к сожалению, неправильно смотрят на употребление алкогольных напитков (водка, вино, пиво). Алкоголь, введенный в желудок, способствует увеличению количества выделяемого желудочного сока. Но качество сока ухудшается, и переваривающая способность резко падает. Регулярное употребление алкоголя даже в сравнительно небольших дозах (50-100 гр) действует разрушительно на центральную нервную систему. Алкоголь расшатывает ритмичную работу жизненно важных органов – сердца, печени, почек, ведет к преждевременному старению организма.

Другая вредная привычка – курение. Химические анализы табака и табачного дыма показали, что они содержат: никотин, анабазин, пиридин, окись углерода, сероводород, уксусную, муравьиную и лимонную кислоты, следы синильной кислоты, летучие маслянистые и другие ядовитые вещества. Курение табака справедливо считается бытовой наркоманией.

В рабочих помещениях курение должно быть категорически запрещено, особенно если в комнате одновременно работают курящие и не курящие люди.

9.2. ВЫБОР ТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

9.2.1. Просмотр обзоров достижений науки и техники

Коренным вопросом самостоятельной научной работы является выбор темы.

Правильно выбранная тема – это наполовину успешное её выполнение. Тема исследования должна быть актуальна, отличаться новизной, направлять научный поиск в область животрепещущих, еще неразрешенных проблем и вопросов современной науки.

Наука, прежде всего, должна быть увязана с государственным хозяйственным планом, но не следует забывать, что перспективы, которые раскрывает непрерывно растущая наука, нередко значительно шире перспектив хозяйственных планов.

У науки имеется собственная специфическая логика развития, которую весьма важно учитывать. Наука всегда должна работать в запас и только при этом условии она будет находиться в естественных для неё условиях.

Выбор темы для диссертации – серьёзное и ответственное дело, касающееся не только самого исполнителя, но и общественности. При выборе темы для самостоятельного исследования предпочтительнее брать узкую тему, которую можно разработать глубоко и всесторонне. В выборе темы, оценке её

актуальности и новизны, а также в определении границ будущего исследования важна своевременная помощь научного руководителя или консультанта.

Молодой исследователь обязан четко определить круг своих интересов, желательную область и направление научного исследования.

9.2.2. Приемы выбора темы для исследования

Выбору темы для диссертации могут способствовать следующие приемы:

- Просмотр обзоров достижений науки и техники.
- Ознакомление с новейшими результатами исследования в смежных, пограничных областях науки и техники.
- Разработка новых более эффективных методов, принципов конструирования, технологии и т.р., применительно к конкретной отрасли народного хозяйства, промышленности транспорта, сельскохозяйственного производства.
- Работа над старыми объектами при помощи новых методов, с новых позиций, с привлечением новых фактических материалов.
- Глубокий анализ и обобщение материалов собранных в научных экспедициях.
- Консультации.
- Просмотр каталогов защищенных диссертаций.

Опыт показал, что прежде чем приступить непосредственно к работе над кандидатской диссертацией, начинающему исследователю полезно испробовать свои силы, выполнив хотя бы небольшие исследовательские темы. Кандидатская диссертация является заключительным этапом цикла научных работ молодого исследователя и является показателем самостоятельного научного работника.

9.3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

9.3.1. Виды информации о результатах научного исследования

Результаты любого научного исследования – всеобщее достояние. И они должны доводиться тем или иным способом до сведения общества в целом, и, прежде всего до специалистов, работающих в данной области знаний.

Существуют самые разнообразные формы передачи информации специалистам. Многовековая практика выработала следующие основные формы:

- *отчет* о научно-исследовательской работе – основной научный документ, в котором излагаются исчерпывающие сведения о выполненной работе; отчет должен составляться в соответствии с требованиями ГОСТ 19600-74 и других нормативных документов;

- *заявка на изобретение или на полезную модель*, в том случае, если в процессе или результате научно-исследовательской работы автор изобрел способ или устройство, отвечающие требованиям новизны;

- *статья в журнале*, трудах института или специальном сборнике, представляет собой сжатое изложение всей или законченной части выполненной научной работы, с основными её результатами и краткими выводами;

- *доклад (тезисы доклада)* на научной конференции (научном семинаре, симпозиуме и т.д.), публичное выступление, содержащее основные идеи, суть и результаты выполненного исследования;

- *сообщение*, было краткое – от 5 до 10 мин., в котором сообщаются только результаты исследования и сжатые выводы, иногда предварительные;

- *обзор*, содержащий систематизированные данные по какой-либо теме, полученные в итоге изучения первоисточников. Аналитический обзор – с критической оценкой информации, реферативный обзор – сжатое изложение систематизированных данных, без их анализа и критики;

- *реферат* как элемент научно-исследовательского отчета – сжатое изложение его основного содержания, достаточное для понимания сущности исследуемого вопроса; самостоятельный документ: аналитический обзор какого-либо научно-технического вопроса по литературным и другим источникам;

- *авторереферат* – реферат о собственной диссертации;

- *монография* – научный труд, обычно в виде книги или брошюры, в котором разрабатывается и излагается какой-либо отдельный научный вопрос или научная проблема;

Диссертация – самостоятельная или выполненная под руководством научно-исследовательская работа, содержащая новое решение актуальной задачи и публично защищаемая для получения ученой степени.

Кроме перечисленных встречаются и другие формы информативной научной документации, например *отпуск* статьи из периодического журнала, *информационный листок* и другие.

9.3.2. Содержание реферата и отчета

Любой информационный материал по научно-исследовательской работе, будь то статья, краткое сообщение, реферат или отчет, должен отвечать определенным требованиям:

- композиция (построение) должна быть четкой; изложение (письменное или устное) логически последовательным;

- аргументация, выдвигаемая автором в защиту своих гипотез и предложений, должна быть убедительной;

- формулировки новых положений должны быть точными, не допускающими возможность неоднозначного толкования, и максимально краткими;

- результаты работы должны быть изложены, возможно, конкретно, с учетом выделения новизны в отдельных результатах;

- выводы должны быть доказательными, изложены кратко и четко. В выводах не должно быть ничего тривиального, общеизвестного;

- рекомендации научного и прикладного характера должны быть обоснованными и реалистическими.

Реферат как самостоятельный научный документ должен иметь титульный лист, краткое введение, основную часть (то есть аналитический обзор), заключение (выводы), список использованных материалов. Если в этом есть необходимость, в реферате могут быть приложения.

Введение посвящается актуальности намеченного исследования, обычно отдельного вопроса, его месту в решении общей темы или проблемы. Во введении также указываются на те особенности изложения, которые приняты автором, например, порядок изложения или группировки анализируемого материала и т.п.

Основная часть (или аналитический обзор) заключается в кратком описании выполненного автором первоисточника исследования в интересующей автора области и анализе опубликованных материалов.

Анализируемый материал целесообразнее излагать в хронологическом порядке, так как при этом вскрывается характер развития знаний в данной области.

Анализ первоисточника должен проводиться примерно в такой последовательности:

- выявляются достоинства и недостатки рабочей гипотезы автора первоисточника;

- анализируется математическая модель, допущения и ограничения, принятые автором, теоретические результаты и их оценка;

- разбирается методика эксперимента, условия его проведения, планирование, экспериментальное оборудование, его соответствие современным требованиям, точность эксперимента и общая его оценка;

- анализируются выводы и рекомендации автора первоисточника.

После анализа отдельных источников следует сопоставить исходные положения, методы, результаты и выводы различных авторов, дать общую оценку состояния исследуемого вопроса, сформулировать свою точку зрения и сделать заключительный вывод о том, что осталось неясным или недоработанным в данном вопросе, какие положения авторов анализируемых материалов необходимо проверить, в каком направлении следует вести дальнейшие исследования.

Заключение содержит в себе краткое изложение выводов, вытекающих из анализа вопроса и формулировку задач дальнейшего исследования.

Список литературы должен содержать все источники используемые при составлении реферата, расположенные под номерами в алфавитном порядке. В тексте реферата на каждый источник дается ссылка в виде номера в квадратных скобках.

Весь вспомогательный материал включается в приложения. В реферате приложения не обязательны. Лучше обойтись без них.

Общий объем реферата не должен превышать 15 страниц рукописного текста.

Отчет о научно-исследовательской работе включает следующие разделы и элементы: титульный лист, список исполнителей, реферат, оглавление, перечень сокращений, символов и специальных терминов с их определениями (в случае необходимости), основную часть, список литературы и приложения. Отчет составляется с соблюдением ГОСТ 19600-74.

Реферат в отчете, в отличие от самостоятельного документа, отражает основное содержание научно-исследовательской работы, краткие (недостаточные для понимания сути) сведения о ней.

В реферате содержится:

- указание на количество машинописного текста, схем, чертежей, графиков, фотографий, таблиц и приложений отчета;
- перечень ключевых слов (от 5 до 15), написанных в строку, через запятые;
- основной текст реферата объемом не более одной страницы.

Ключевое слово – слово, выражающее отдельное понятие, существенное для раскрытия содержания текста. В совокупности ключевые слова должны раскрывать полное представление о содержании отчета.

Научный язык.

Основное требование к языку научной работы, будь то отчет, доклад или статья – законченность высказывания с соблюдением законов логики. Поэтому стиль научной работы должен быть, прежде всего, ясным, четким, конкретным. Следует придерживаться единообразия терминологии.

9.3.3. Некоторые вопросы внедрения результатов научно-исследовательской работы

Производственный процесс является основной сферой применения научных результатов, а наука функцией производственного процесса.

Однако, к сожалению, встречаются случаи, когда научно-исследовательская работа делается в отрыве от производства или со слабой связью с ним. При этом, как правило, исследователю приходится внедрять результаты в производство, испытывая на каждом этапе этого процесса, как говорится «сопротивление материалов». Происходит это в силу того, что старое не уступает свое место новому без определенного сопротивления. Внедрение нового требует средств, отнимает время, может, на первых этапах, отразиться на выполнении плана производства, не предусмотренного финансированием и т.д. и т.п.

Многолетний опыт показывает, что процессы внедрения и освоения производством результатов научных исследований проходят значительно безболезненно и быстрее, если то или иное предприятие заинтересовано в этом освоении и ждет от него конкретных результатов. Поэтому для ускорения внедрения целесообразно:

- выполнить расчет технико-экономической эффективности внедрения с помощью экономической службы производства. При этом расчет должен отличаться конкретностью, учитывая специфику данного предприятия и

наглядно показывать степень и характер изменения ряда показателей: фондовооруженности, производительности, рентабельности;

- подробно и хорошо ознакомить с рекомендациями и предложениями не только руководство предприятия, которому обычно передаются материалы, но и технические службы предприятия и даже работников цеха или участка, на котором предполагается внедрение. Ознакомление следует проводить на опытном образце, если таковой имеется;

- осуществлять авторский надзор за внедрением, следить за выполнением плана и графиков работ, давать необходимые консультации и разъяснения, оказывать максимальную помощь предприятию;

- вносить по ходу внедрения все необходимые исправления или изменения во всю документацию по внедрению (чертежи, схемы и другие документы). Прислушиваться к критике непредвзято, а оценивать все замечания и пожелания производственников;

- участвовать не только в пуско-наладочный период внедрения, но и в период опытной эксплуатации технических новшеств, которые осуществлены на предприятии по результатам научного исследования.

Движение от научного исследования к техническому изобретению и от него к широкому применению научно-технических достижений в массовом производстве является мощным фактором в деле интенсификации производственных процессов в агропромышленном комплексе.

10. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

10.1. Комплексная оценка сельскохозяйственной техники и уровня её использования

Пользуясь методами квалиметрии [9], определяют комплексную оценку техники и её использования по единичным показателям Π_i , их уровню Y_i , по отношению к базовым показателям $\Pi_{баз}$ и весомости (значимости) M_i этих показателей в целевой оценке K_i по группам показателей и общей оценке (показатель качества) K_o при значимости этих показателей M_i .

Соответственно:

$$Y_i = \Pi_i / \Pi_{баз}; K_i = \sum Y_i M_i; K_o = \sum K_i M_i. \quad (10.1)$$

Комплексная оценка $K_{оц}$ должна включать как показатель качества K_o , так и оценку денежных затрат (себестоимости) K_z продукции, выраженную так же, как отношение фактических затрат S_i и $S_{баз}$. С учетом значимости своих показателей M_i . Соответственно:

$$Y_z = S_i / S_{баз}; K_z = \sum Y_z M_i; K_{оц} = K_o / K_z. \quad (10.2)$$

Для сельскохозяйственной техники приняты [27, 32] шесть групповых показателей K_i (агротехнический с коэффициентом весомости 0,26; эксплуатационно-технологический 0,21; энергетический 0,11; технической экспертизы конструкции 0,11; надежности 0,19; условий труда 0,12).

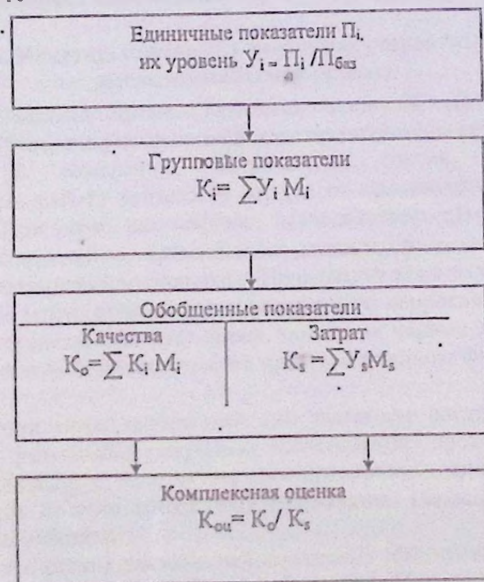


Рис. 10.1. Структурная схема комплексной оценки сельскохозяйственной техники и её использования.

По иерархическому уровню комплексная оценка K_o принята за нулевой уровень, обобщенные показатели качества техники K_o и оценки по затратам K_z — за первый уровень, групповые показатели K_i — за второй уровень и оценка единичных показателей Y_i — за третий уровень.

В зависимости от задач оценки различают показатели Π — фактические и нормативные. Структурная схема системы комплексной оценки сельскохозяйственной техники и её использования представлена на рис. 10.1.

По результатам обобщенной оценки K_o качества продукции или комплексной оценки $K_{оц}$ исследуемые объекты могут быть отнесены к той или иной категории. Например,

при $K_o = 0,91 \dots 1,0$ — первая категория;

при $K_o = 0,81 \dots 0,9$ — вторая категория;

при $K_o = 0,71 \dots 0,8$ — третья категория;

при $K_o \leq 0,7$ — брак.

По каждой сельскохозяйственной работе выделен один важнейший технологический показатель: на вспашке — глубина обработки; на посеве — высев семян в соответствии с установленной нормой, на уборке — наличие потерь урожая и т.д.

Если по этому показателю исследуемый объект не соответствует требованиям, то независимо от других показателей общая оценка равна нулю. Таким образом, основной технологический показатель по каждой работе обладает в общей оценке, так называемым правом «вето».

10.2. Эффективность результатов исследования

Определяют сопоставлением показателей без использования результатов исследования и в случае их использования.

В качестве критериев эффективности принимают натуральные и стоимостные показатели. В зависимости от характера и масштаба использования результатов исследования различают народнохозяйственный эффект, учитывающий затраты и эффект всех отраслей народного хозяйства, отраслевой и хозяйственный эффект.

Особо следует учитывать сравнимость социальных и экологических факторов, показателей охраны труда, влияния на окружающую среду, природу.

В качестве одного из основных критериев оценки результатов исследования принимают показатели экономической эффективности.

Экономическими показателями являются прямые эксплуатационные затраты; приведенные затраты; себестоимость производства сельскохозяйственной продукции; потребность в трудовых ресурсах; затраты труда. На основе этих показателей определяют годовой экономический эффект, экономический эффект за срок службы машин; прибыль; рентабельность производства; лимитную цену машин; годовую экономию затрат труда [8].

Себестоимость, прибыль, рентабельность производства определяют при исследованиях комплексов машин реализующих новые технологии производства продукции (до конечного результата), а при исследованиях отдельных элементов механизации сельскохозяйственного производства

ограничиваются главным образом определением годового экономического эффекта.

При этом надо учитывать не только экономию приведенных затрат но и экономический эффект от высвобождения рабочей силы, от изменения количества и качества продукции, улучшения условий труда.

Годовой экономический эффект определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_r = B_r (П_б - П_n + \mathcal{E}), \quad (10.3)$$

где $\mathcal{E}_r$ — годовой экономический эффект, руб./год ;

$П_б, П_n$ — приведенные затраты на единицу наработки по базовому и новому варианту, $\text{руб./ед. наработки}$; $\mathcal{E}$ — экономический эффект от высвобождения рабочей силы, достигнутых условий труда, от изменения количества и качества продукции на единицу наработки, $\text{руб./ед. наработки}$; B_r — годовая наработка по новому варианту (по результатам исследования), ед. наработки/год.

При необходимости определяют и все другие показатели экономической эффективности. Эффект от высвобождения рабочей силы может определяться, как правило, по той доле накопления национального дохода, который может быть создан высвобожденным работником на другом рабочем месте (с учетом затрат на социальные нужды — жильё, школы и др.) при условии выполнения работы на прежнем месте без его участия.

Экономический эффект рассчитывают как: предполагаемый (по результатам исследования); ожидаемый (при составлении рекомендаций производству); планируемый (при включении в планы внедрения достижений науки и техники конкретных предприятий); фактический (по фактическим результатам работы).

Эффективность может быть прямой и косвенной. Прямая эффективность — это непосредственный результат; косвенная — результат, получаемый через другие факторы или совместно с ними.

Эффект от результатов исследования можно рассчитывать не только в денежном выражении, но и в многообразных показателях технического, технологического, экологического, организационного и другого совершенства.

Из общего эффекта, достигаемого от применения новой техники технологии или других мероприятий по результатам научных исследований, на само исследование приходится лишь часть, зависящая от конкретных условий исследования и применения её результатов.

Обычно оно принимается в пределах 10-20% от общего эффекта, но может и значительно отличаться от этих средних величин.

11. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В АГРОИНЖЕНЕРИИ

В соответствии с задачами правительства по дальнейшему развитию агропромышленного комплекса в условиях рыночной экономики можно рекомендовать следующие направления и примерный перечень научно-исследовательских работ:

- Исследование технологии, в первую очередь, механизированных работ в полеводстве, растениеводстве и животноводстве, а также переработки сельскохозяйственной продукции.

- Необходимо создавать и изучать новые, более совершенные процессы и приёмы.

Технологические процессы, которые нельзя заменить более совершенными, надо видоизменить в соответствии с естественными особенностями зон, районов и участков. Уточнение технологии применительно к местным условиям может дать большой производственный эффект. Очень важно теоретическое и практическое установление полей допусков на качество полевых работ и энергетических показателей МТА. Не закончено еще создание фундаментальной теоретической основы этой важной и обширной части науки.

В этом направлении можно исследовать: применение и совершенствование машин для химизации сельского хозяйства; использование вибраций в различных технологических процессах — от обработки почвы до уборки, сортировки и переработки сельскохозяйственной продукции; применение ротационных рабочих узлов; новые способы основной обработки почвы; посева и уборки для конкретных условий; лучшие методы получения обработки и закладки силосной массы; автоматическое поддержание устойчивости заданного технологического процесса; использование токов высокого напряжения для прекращения жизнедеятельности при уборке растений; электро-термохимические процессы для селективной стерилизации почвы или подготовки продуктов урожая в процессе его уборки и другие технологические процессы; создание эффективных способов и технологий по повышению ремонтпригодности, долговечности и износостойкости деталей машин.

Оценка конструкций машин, отдельных механизмов и рабочих узлов в разных условиях. Усовершенствование рабочих узлов и деталей. Определение качества работы машины или рабочих узлов, износов различных деталей и влияние их на качество, и стоимость работы, и установление предельных износов. Исследование кинематики и динамики конкретных механизмов, машин и машинно-тракторных агрегатов, а также их энергетики. Определение надежности и экономических показателей машин и агрегатов. Поиски оптимальной надежности.

Первые два направления могут быть связаны с конструированием новых машин или усовершенствованием уже имеющихся. Если создание новой конструкции затруднительно, обоснование системы машин и требований к конструкциям может являться вполне достаточным результатом научного исследования.

Основные цели исследований по первым двум направлениям — улучшить качество работы, повысить производительность и уменьшить затраты труда и средств:

- Изучение свойств материалов, обрабатываемых сельскохозяйственными машинами и изменения этих свойств в различных условиях. Эта тематика в одинаковой степени важна и для конструирования и восстановления изношенных деталей машин и для рационального их использования.

- Исследование технического обслуживания (эксплуатации и ремонта) машин. Основная цель этих исследований — поддержание технической надежности машин на высоком уровне, уменьшение простоев из-за неисправности и ремонта, а также снижение затрат энергетических и материальных на техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственной техники.

- Изучение общих вопросов использования машин: эксплуатационных свойств машин; оптимального захвата агрегатов; составления машинно-тракторных агрегатов; режимов их работы и энергетики; нормирования, использования транспортных средств; организации нефтехозяйств; нахождение оптимальной структуры машинно-тракторного парка (альтернативного для фермерских хозяйств) для данных типовых условий; прогнозирование нужного количества машин новых типов конструкций новых машин и устройств, необходимого количества ремонтов; запасных частей и узлов обменного фонда и т.п.

Актуальны работы, связанные с увеличением скорости движения машинно-тракторных агрегатов. К этой группе можно отнести: конструирование, улучшение и испытания сцепных устройств для скоростных машин, определение оптимальных скоростей и способов движения для конкретных условий; способы наилучшей подготовки полей и агрегатов к работе на повышенных скоростях; механизация вспомогательных процессов и другие исследования, связанные с внедрением повышенных скоростей.

- Исследование общетехнических вопросов от исследования напряжений в деталях машин до применения автоматики и телемеханики. В данном случае с экспериментальным исследованием тесно связано развитие различных теоретических обобщений.

- Создание и применение более совершенных машин, агрегатов, узловобеспечивающих повышение плодородия почвы и производительность, ремонтпригодности, износостойкости, улучшение условий труда и охрану природы, снижение топливно-энергетических и материальных затрат.

- Совершенствование производственной эксплуатации МТП, соответствующей почвозащитным и энергосберегающим промышленным технологиям возделывания сельскохозяйственных культур и способствующей получению высоких гарантированных урожаев.

- Разработка и применение новых форм и методов технического сервиса и диагностирования машин, обеспечивающих их сохранность и работоспособность.

- Работать над созданием мобильных энергетических средств, при которых часть тягового усилия создается на ведущих органах трактора, а часть на

ведущих органах рабочих машин. Значительная мощность двигателя должна передаваться на активные рабочие органы.

- Создавать приборы и приспособления, которые бы автоматически контролировали загрузку двигателя, работоспособность и качества работы агрегата.

12. МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

12.1. Структура магистерской диссертации

Магистерская диссертация, согласно требованию стандарта подготовки магистров специальности включает:

1. В обосновании выбранной темы необходимо изложить основные указы и постановления правительства по развитию агропромышленного комплекса и механизации сельскохозяйственного производства.

В соответствии постановлений правительства по механизации сельскохозяйственного производства, выбранная тема по механизации пустынных кормовых растений и лесопастбищных насаждений, представляет актуальную задачу для дальнейшего развития каракулеводства и животноводства республики. Наиболее актуальными являются также темы, направленные на создание новых способов восстановления изношенных деталей, совершенствование конструкции менее надежных узлов и агрегатов машин.

2. Краткий обзор материалов и исследований по выбранной теме. В этом разделе, на основании материалов (монографий, научно-технических отчетов, специальной литературы) дается критический анализ работ предшественников и материалов исследований в смежных областях.

3. Постановка задачи выполнения выбранной темы:

- Излагается первоначальная гипотеза.
- Описывается краткая методика решения задачи.
- Для выполнения поставленной задачи необходимо применение такой-то аппаратуры и приспособлений и т.д.
- Как будут проводиться теоретические и экспериментальные исследования.

4. Теоретическое исследование.

В этой главе решение поставленной задачи излагается теоретическим методом с использованием таких математических приёмов: математической статистики, теории вероятностей, теории случайных процессов, теории выбросов, теории массового обслуживания и т.д.

5. Экспериментальное исследование.

В данном разделе описывается, как будут проводиться исследования в лабораторных и полевых условиях. Приводятся методика исследований, аппаратура и приспособления, обработка результатов лабораторных и полевых исследований; результаты экспериментальных испытаний, анализ результатов опытных данных, выводы.

6. Анализ и сопоставление результатов.

В этом разделе описываются сопоставления результатов теоретического и экспериментального исследований. На основании теоретического и экспериментального исследований излагаются выводы.

7. Техничко-экономическая оценка результатов научного исследования. В этой главе приводятся расчеты с использованием нормативов, гостов экономического обоснования результатов в исследовании и рассчитывается годовой экономический эффект.

8. Общие выводы и рекомендации по использованию результатов исследований.

На основании результатов теоретического и экспериментального исследований, а также технико-экономической оценки исследований разрабатываются общие выводы и рекомендации.

9. В конце приводятся используемые: литература, научно-технические отчеты и другие работы.

12.2. Оформление и защита

При оформлении магистерской диссертации магистр постоянно консультируется у своего руководителя.

Общие указания по оформлению диссертации сводятся к следующему: работа выполняется на стандартных листах писчей бумаги объемом 90-120 стр.

Текстовая часть располагается так, чтобы с левой стороны имелось поле для брошюрования 25 мм, а с правой 5 мм. В работе должны быть единая система буквенных обозначений и отсутствовать произвольные сокращения слов. Проводимые единицы измерения различных величин должны обозначаться в соответствии с ГОСТами.

В начале работы после титульного листа помещают задание, содержание и аннотацию, объем аннотации 0,5-0,7 с полного листа (А-4).

Все таблицы, схемы, чертежи, фотографии и другие иллюстрационные материалы должны иметь подписи и порядковые номера.

Графики и таблицы выполняются на ватмане размером (840x576 мм) формата А-1 в количестве 9-12 листов.

На титульном листе работы наносятся: наименование ведомства, института, факультета, кафедры, название темы, фамилия, имя, отчество исполнителя и руководителя, их ученые степени, звания, должности. В нижней части титульного листа указывается место и год выполнения работы. В тексте должны иметься ссылки на приложения и литературные источники, использованные в работе.

Список использованной литературы помещается в конце работы. Магистерская диссертация сдается руководителю по мере выполнения, но не позднее, чем за неделю до ее защиты. Работа считается законченной после получения отзыва руководителя к подписи его о допуске к защите. После чего диссертация направляется на рецензию. Допущенные к защите работы докладываются комиссии, утвержденной магистратурой.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1.

Плотность вероятности нормального распределения $f(Z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Z^2}{2}}$

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.3989	0.3989	0.3989	0.3988	0.3986	0.3984	0.3982	0.3980	0.3977	0.3973
0.1	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0.2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0.3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3697
0.4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0.5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3392
0.6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0.7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0.8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0.9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1.0	2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1.1	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1.2	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1.3	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1.4	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1.5	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1.6	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	989	993	0957
1.7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1.8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669
1.9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0551
2.0	0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459	0449
2.1	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371	0363
2.2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290
2.3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235	0229
2.4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180
2.5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143	0139
2.6	0136	0132	0125	0126	0122	0119	0116	0113	0110	0107
2.7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084	0081
2.8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063	0061
2.9	0060	0058	0056	0053	0053	0051	0050	0048	0047	0046
3.0	0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0036	0035	0034
3.1	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025	0025
3.2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018	0018
3.3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013	0013
3.4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009	0009
3.5	0009	0008	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007	0006
3.6	0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0004
3.7	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003	0003	0003
3.8	0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002	0002	0002
3.9	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0001	0001

Приложение 2.

Таблица значений $P(\lambda)$ критерий колмогорова

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
1	2	3	4
0,30	1,000	1,00	0,270
0,35	0,9997	1,10	0,155
0,40	0,9972	1,20	0,112
0,45	0,9874	1,30	0,068
0,50	0,9639	1,40	0,039
0,55	0,9228	1,50	0,022
0,58	0,8896	1,60	0,0120
0,60	0,8643	1,70	0,0062
0,64	0,8073	1,80	0,0032
0,65	0,7920	1,90	0,0015
0,70	0,7112	2,00	0,0007
0,75	0,6272	2,10	0,0003
0,80	0,5441	2,20	0,0001
0,85	0,4653	2,30	0,0001
0,90	0,3927	2,40	0,0000
0,95	0,3878	2,50	0,0000

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Горячкин В.П. Основные задачи построения и испытания сельскохозяйственных машин и орудий. Собр.соч.Т.VII. –М., Сельхозгиз, 1949. – 230 с.
2. Износ деталей сельскохозяйственных машин. –Л.: «Колос», 1972–288 с. Авт.: – М.М.Севернев и др..
3. Петров С.А., Бисноватый С.И. Ремонт сельскохозяйственных машин. –М.: «Колос», 1972. – 463 с.
4. Зельцерман И.М., Корешков В.И. Пути повышения прочности сельскохозяйственных машин. Ч.1. –М.: ЦИНТИАМ, 1963. –150 с.
5. Лоренц В.Ф. Износ деталей сельскохозяйственных машин. –М.: Машгиз, 1948. –88 с.
6. Силаев А.А. Спектральная теория поддрессирования транспортных машин. –М.: «Машиностроение», 1972. – 192 с.
7. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности сельскохозяйственных машин. –М.: «Машиностроение», 1972. –264 с.
8. Розенбаум А.Н., Тененбаум М.М. Оптимизация конструктивных параметров изнашивающихся деталей сельхозмашин. – «Тракторы и сельхозмашины», 1973, №7, с. 37-39.
9. С.В.Кардашенский, О.В.Погорелый и др. Испытания сельскохозяйственной техники. –Москва: «Машино-строение», 1979. – 288 с. Корсун А.И., Сулейманов С.С., Шабурян С.С. Повышение эффективности использования мобильных сельскохозяйственных агрегатов совершенствованием динамических характеристик и режимов работы. (Учебное пособие). – Ташкент: Издательство ООО «BOSMA», 2003. Издательский отдел ТашГАУ. –154 с.
10. Корсун А.И. Динамика мобильных хлопководческих Машино-тракторных агрегатов. – Ташкент: Изд-во «Фан», УзССР, 1983, –152 с.
11. Корсун А.И., Игамбердыев А.К., Рустамов Д.Т. Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований сельскохозяйственных агрегатов. – Ташкент: Издательский отдел ТашГАУ, 2006. –124 с.
12. Корсун А.И., Сулайманов С.С., Рустамов Д.Т. Методическое пособие по изучению приборов и средств для измерения механических величин электрическими методами. – Ташкент: Типография ТИИИМСХ. 2001. Типография ТИИИМСХ – 24 с.
13. Приходько П.Г. Тропой науки. Издательство «Наука» Сибирское отделение, Изд-во Московского Государственного университета, 1965 г.
14. Закин Я.Х., Рашидов Н.Р. Основы научного исследования. –Ташкент: Изд-во «Укитувчи», – 1979. –182 с.
15. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. – Ленинград: «Колос», Ленин-градское отделение, 1978. –292 с.
16. Ильичев, Волков В.Д., Грушанский В.А. Эффективность проектируемых элементов сложных систем». –Москва: «Высшая школа», 1982. –278 с.
17. Крайзмер Л.П. Кибернетика, –Москва: «Агропромиздат», 1985. -- 246 с.
18. Корсун А.И. Исследование эксплуатационных показателей мобильных хлопководческих агрегатов. – Ташкент: 1985, Т.1. 625 с. Т.2, –227 с. Заключ. Отчет за 5 лет. ВНИТИЦ, N ГС 01830057340. Инв. № Б 02860080634.
19. Гоберман Л.А. и др. Теория, конструкция и расчет строительных и дорожных машин. – Т.: «Машиностроение», 1979. –206 с.
20. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов. –М.: «Наука», 1970, – 391 с.
21. Методические принципы определения экономического эффекта от ускорения НТН в тракторостроении. – Москва: НАТИ. 1984.
22. Косс П.И., Зорин В.Е Основы надежности дорожных машин. – М.: «Машиностроение», 1978. - 165 с.
23. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. – М.: «Советское радио», 1968.
24. ГОСТ 16468-70. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Основные положения.
25. ГОСТ 17509-72. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Методы определения точечных оценок показателей надежности по результатам наблюдений.
26. ГОСТ 17510-72. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений.
27. ГОСТ 11003-73. Прикладная статистика. Равномерно распределенные случайные числа.
28. ГОСТ 11004-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения.
29. ГОСТ 11006-74 Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим.
30. ГОСТ 11007-74 Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла.
31. ГОСТ 20738-75. Надежность в технике. Расчет комплексных показателей надежности восстанавливаемых объектов (без резервирования).
32. ГОСТ 20831-75 Система технического обслуживания и ремонта техники. Порядок проведения работ по оценке качества отремонтированных изделий.
33. Тельнов Н.Ф. Восстановление изношенных деталей – важный резерв экономии материальных ресурсов и повышения надежности машин (лекция). –Москва, 1980.
34. Аширбеков И.А. Технологические основы наплавки деталей машин в охлаждающе-аэрозольной среде. –Ташкент: «Фан», 2004. –138 с.
35. Прейсман В.И. Основы надежности сельскохозяйственной техники. –Киев, Донецк: «Виша школа», 1979. –190 с.

36. Крутиков А.А. Износостойкость и антифрикционные покрытия. — М.: «Машиностроение», 1976.
37. Ермолов Н.Н., Михеев В.В. Надежность оснований сооружений. — Л.: Стройиздат, 1973.
38. Ермолов Л.С., Кряжков В.М., Черкун В.Е. Основы надежности сельскохозяйственной техники. — М.: «Колос», 1974.
39. Карасев А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: «Статистика», 1970.
40. Кастецкий Б.И. Надежность и долговечность машин. — Киев: Техника, 1975.
41. Маринеску И.И. Основы математической статистики и ее применение. — М.: «Статистика», 1970.
42. Половко А.М. и др. Сборник задач теории надежности. — М.: Советское радио 1972.
43. Серый И.С., Смехов А.П., Черкин А.Е. Курсовое и дипломное проектирование по надежности и ремонту машин. — М.: Агропромиздат, 1991. — 184 с.
44. Храпцов Н.В. Надежность отремонтированных автотракторных двигателей. — М.: Росагропромиздат, 1989. — 157 с.
45. Аширбеков И.А., Азизов Ш. Снижение затрат материальных и энергетических ресурсов при восстановлении деталей вибродуговым способом. Сб. трудов международной научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы развития энергетики». — Ташкент: ТашГАУ, 2006. — 265-268 с.
46. Бобусенко С.М., Степанов В.А. Современные способы ремонта машин. 2-е изд. — М.: «Колос», 1977.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Основы научных исследований	
1.1. Понятие о науке и ее характерные черты	7
1.2. Роль науки в обществе и научно-технического прогресса	8
1.3. Научные исследования и их классификация	11
1.4. Структура научного исследования	13
1.5. Постановка проблемы	14
1.6. Изучение материалов	16
1.7. Рабочая гипотеза	18
1.8. Основные методы исследования	19
1.9. Основные аспекты системного подхода в исследовании эффективности сложных систем	21
1.9.1. Понятие о сложной системе	21
1.9.2. Аспекты системного подхода	24
2. Методика опытов	
2.1. Общие понятия о методике исследования	29
2.2. Основные измеряемые величины	30
2.3. Характеристики измеряемой аппаратуры	32
3. Планирование, подготовка и проведение опытов	
3.1. Количество опытов	36
3.2. Подготовка к опытам	39
3.3. Планирование многофакторных исследований	40
3.4. Проведение опытов и их предварительная оценка	41
3.5. Особенности осциллографической записи	42
4. Преобразователи и датчики для измерения механических величин электрическими методами	
4.1. Датчики и их тарировка	44
4.2. Измерительные устройства	48
4.3. Тензометрические приборы	52
4.4. Расположение измерительных приборов в тензометрической станции	54
4.5. Тарировка приборов	54
4.6. Подготовка усилителя к работе	58
4.7. Краткая инструкция по эксплуатации портативного 14 канального осциллографа Н-700	59
4.8. Работа на осциллографе	60
4.9. Юстировка осциллографа Н-700	60
4.10. Устранение неполадок юстировки	61
5. Анализ структурных составляющих машин и оценка их конструктивного совершенства. Основы расчета надежности машин	
5.1. Состав элементов машин, годность машин и их элементов	62
5.2. Структурные составляющие годности машин. Обоснование эффективности восстановления	

изношенных деталей машин.....	62
5.3. Равнопрочность конструктивных элементов и стабильность регулировок машин.....	65
5.4. Долговечность и ремонтпригодность машин.....	66
5.5. Анализ годности конструктивных элементов, отличие ремонтпригодности конструктивных элементов от Неремонтпригодных.....	67
5.6. Изменение годности неконструктивных элементов машин. Выравнивание интенсивности снижения годности ремонтпригодных конструктивных элементов корректировкой их остаточной пассивной годности.....	71
5.7. Структура технического сервиса, фирменного ремонта, лизинга и маркетинг в агропромышленном комплексе.....	76
5.8. Закономерности изнашивания износа элементов машин....	79
5.9. Математические основы расчета надежности машин.....	80
5.9.1. Краткие сведения из теории вероятностей.....	80
5.9.2. Вероятность события.....	81
5.9.3. Случайная величина.....	82
5.9.4. Единичные и комплексные показатели надежности....	82
5.9.5. Определение вероятностей сложных событий.....	88
5.9.6. Распределение случайной величины.....	88
5.9.7. Числовые характеристики случайной величины.....	89
5.9.8. Теоретические законы распределения.....	90
5.9.9. Дифференциальные и интегральные функции законов распределения.....	90
5.9.10. Закон нормального распределения.....	92
5.9.11. Закон распределения Вейбулла.....	96
5.9.12. Критерий согласия опытных и теоретических распределений показателей надежности.....	99
5.9.13. Планы наблюдений и виды информации.....	102
5.9.14. Определение полного фактического ресурса детали.....	104
5.9.15. Методика обработки информации показателей надежности.....	104
5.9.16. Прогнозирование надежности машин.....	107
6. Основные пути повышения надежности и ремонт-пригодности машин.....	
6.1. Пути повышения надежности машин.....	112
6.2. Обеспечение надежности при проектировании.....	112
6.3. Технологические (производственные) методы повышения надежности машин.....	113
6.4. Эксплуатационные мероприятия по повышению надежности машин.....	114
6.5. Повышение надежности машин при ремонте.....	114

7. Пример применения многофакторного эксперимента при исследовании конструктивных параметров рабочих органов чизельного плуга [12]

7.1. Общие положения.....	116
7.2. Исследование конструктивных параметров рабочих органов чизельного плуга методом активного планирования эксперимента.....	117
8. Требования к проектированию машинотракторных агрегатов	
8.1. Функции нагружения.....	143
8.2. Функции несущей способности конструкции агрегата.....	144
8.3. Прочность и надежность конструкции агрегата.....	146
8.4. Пути минимизации конструктивной массы агрегата.....	147
8.5. Оптимизация конструктивно-силовой схемы маши- нотракторного агрегата.....	148
8.6. Проектирование конструкции МТА с учетом требований надежности.....	150
9. Организация научных исследований и оформление результатов научно-исследовательской работы	
9.1. Гигиена труда и отдых научных работников.....	153
9.1.1. Рациональный режим труда.....	153
9.1.2. Память и ее совершенствование.....	153
9.1.3. Рабочее помещение и рабочее место.....	154
9.1.4. О гигиене зрения.....	155
9.1.5. Режим отдыха и питания.....	155
9.2. Выбор темы для исследования.....	156
9.2.1. Просмотр обзоров достижений науки и техники.....	156
9.2.2. Приемы выбора темы для исследования.....	157
9.3. Оформление результатов научно-исследовательской работы.....	157
9.3.1. Виды информации о результатах научного исследо- вания.....	157
9.3.2. Содержание реферата и отчета.....	158
9.3.3. Некоторые вопросы внедрения результатов научно- исследовательской работы.....	160
10. Технико-экономическая оценка результатов научного исследования	
10.1. Комплексная оценка сельскохозяйственной техники и уровня её использования.....	162
10.2. Эффективность результатов.....	163
11. Основные направления научно-исследовательских работ в агроинженерии	
12. Методическое руководство по выполнению выпускной магистерской диссертации	
12.1. Структура магистерской диссертации.....	168
12.2. Оформление и защита.....	169
Приложение.....	170
Использованная литература.....	172

19800

ДЛЯ ЗАМЕТОК

А. И. КОРСУН, Т. С. ХУДОЙБЕРДИЕВ, И. А. АШИРБЕКОВ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АГРОИНЖЕНЕРИИ

(Учебное пособие)

Ташкент – «Fan va texnologiya» – 2009

Редактор:	Д.Вахидова
Тех. редактор:	А.Мойдинов
Корректор:	Ж.Тураханов
Компьютерная верстка:	Н.Хасанова

Разрешено в печать 01.04.09. Формат 60x84¹/₁₆.
Гарнитура «Times New Roman». Печать офсетная. Ус.печ.л.11,5.
Изд.п.л. 11,0. Тираж 500. Заказ № 50.

Отпечатано в типографии «Fan va texnologiya Markazining bosmaxonasi»
100003, г. Ташкент, ул. Алмазар, 171.

ISBN 978-9943-10-194-4



9 789943 101944